

NISTEP REPORT No.141

平成21年度科学技術振興調整費調査研究報告書

将来社会を支える科学技術の予測調査

# 科学技術が貢献する 将来へのシナリオ

2010年3月

文部科学省科学技術政策研究所

科学技術動向研究センター

The 9th Science and Technology Foresight

- Contribution of Science and Technology to Future Society

**Future Scenarios Opened up by Science and Technology**

March 2010

Science and Technology Foresight Center  
National Institute of Science and Technology Policy  
Ministry of Education, Culture, Sports, Science and Technology

The 9th Science and Technology Foresight

- Contribution of Science and Technology to Future Society

**Future Scenarios Opend up by Science and Technology**

March 2010

Science and Technology Foresight Center  
National Institute of Science and Technology Policy  
Ministry of Education, Culture, Sports, Science and Technology

# 目次

概要.....	I
<b>第Ⅰ部 背景と目的</b> .....	<b>1</b>
1. 調査の背景.....	1
2. 「将来社会を支える科学技術の予測調査」の全体概要.....	1
3. 本調査の位置づけと目的.....	2
<b>第Ⅱ部 グループワークによるシナリオライティング</b> .....	<b>4</b>
1. シナリオテーマおよび執筆グループ.....	4
2. シナリオの定義・作成に当たっての意識・書かれるべきことなど .....	7
3. シナリオの仕様 .....	9
4. 執筆グループによるシナリオ.....	13
低炭素社会を実現するスマートグリッド.....	14
世界に展開する水供給システム.....	25
グリーンICTビジネス.....	32
農林水産業の総合産業化.....	47
環境変化への適応策.....	57
少子高齢化時代の健康維持・増進.....	68
健康長寿社会を支える世界最高水準の医療環境.....	77
格差フリーのための健康情報インフラ.....	92
食料安定供給 .....	112
化石資源・鉱物資源の安全保障.....	123
世界最高水準の生活セキュリティ:減災型社会の実現 .....	133
信頼できる社会の基盤.....	139
<b>第Ⅲ部 デルファイ調査結果に基づく将来シナリオ</b> .....	<b>145</b>
1. 目的.....	145
2. シナリオ作成の方法.....	145
3. 中心話題とそれぞれの科学技術課題 .....	146

4. シナリオ .....	156
各種診断技術・システムが生活の中に適切に埋め込まれ、 個人による健康維持が進み始めた社会 .....	156
様々なエネルギーを、各個人が選択的あるいは総合的に価値判断して 利用することが可能になり、温暖化防止や環境保全に貢献していると 実感できるようになった社会 .....	162
環境変化がもたらす様々な災害に対応しはじめた社会 .....	167
<b>第IV部 若年層 ICT 研究者・技術者の描く将来像 .....</b>	<b>173</b>
1. 対象と議論の焦点 .....	173
2. 内容と結果 .....	174
3. 議論から得られた傾向 .....	181
4. 調査結果のまとめ .....	182
付録 .....	185
<b>第V部 総括 .....</b>	<b>194</b>

## 概要

本調査は「将来社会を支える科学技術の予測調査」の一環として行われたものであり、将来的に科学技術が目指す将来のイメージを明らかにし、併せて、そこで生じるグローバル課題・国民的課題に対して、それらを解決していくための科学技術も明らかにしようとしたものである。

科学技術がチャレンジしていくべき方向性に対し、将来社会の変化と知の統合による枠組みや道筋を、以下の異なる3つのアプローチにより描き出すことを試みた。

### (1) グループワークによるシナリオライティング

専門家が形成する自発的グループが学際的なディスカッションによって、15～30年後の将来社会像とそれに貢献するはずの科学技術を考察した。12グループ、のべ54人による将来シナリオが提示された。複数領域の科学技術の複合的な成果と社会システムの整備によって、グローバル課題や国民的課題に向けて一つの解を示していく枠組みや道筋が例示的に示された。

大目標 (グランドチャレンジ)	テーマ名 (グローバル課題や国民的課題に向けた解の例)
グリーンイノベーションによって持続的に成長する日本	低炭素社会を実現するスマートグリッド
	世界に展開する水供給システム
	グリーン ICT ビジネス
	農林水産業の総合産業化
	環境変化への適応策
健康・高齢社会の成功モデルとしての日本	少子高齢化時代の健康維持・増進
	健康長寿社会を支える世界最高水準の医療環境
	格差フリーのための健康情報インフラ
暮らしの安全が保障される日本	食料安定供給
	化石資源・鉱物資源の安全保障
	世界最高水準の生活セキュリティ
	信頼できる社会の基盤

### (2) デルファイ調査結果に基づく将来シナリオ

第9回デルファイ調査の結果(多くの専門家の平均的な将来見通し)を基にし、2025年の科学技術の社会への貢献を3つの社会像に集約し、国民生活の観点から生活シーンとして描いた。日常のなかで健康を享受し、また、環境に配慮したインフラが当たり前のようにになっている国民生活とともに、次々と生み出される科学技術の研究成果が国民生活へ将来の希望を与えている様子が、次の3つの社会像において描かれた。

各種診断技術・システムが生活の中に適切に埋め込まれ、個人による健康維持が進み始めた社会
様々なエネルギーを、各個人が選択的に、あるいは総合的に価値判断して、利用することが可能になり、温暖化防止や環境保全に人々が積極的に関わるようになった社会
環境変化がもたらす様々な災害に対応しはじめた社会

### (3) 若い層による将来社会の検討

上記(1)(2)を補完する目的で、若手のみからなるグループディスカッションにより、特にICTが医療・介護・教育・労働・環境などにどのように貢献しうるかという例が抽出された。

以上の3つの補完的なアプローチにより、科学技術の成果が将来のグローバル課題・国民的課題に具体的な解を与え、また、将来の国民生活を支えていくとともに希望を与えていく様子を、数多く例示することができた。

## 第 I 部 背景と目的

### 1. 調査の背景

我が国では 1995 年から科学技術基本計画のもとに科学技術政策が遂行されてきた。特に 2000 年度以降の第 2 期および第 3 期科学技術基本計画では、政策課題対応型の研究開発（基盤的経費で行われる基礎研究および科学技術システム改革に係る部分は含まれない）において、分野重点化の考え方が基本とされてきた。具体的には、政策課題対応型の研究開発は、ライフサイエンス・情報通信・環境・ナノテク材料・エネルギー・ものづくり技術・社会基盤・フロンティアという 8 分野において重点化されるという構造が採られてきた。特に 2006 年度からの第 3 期科学技術基本計画においては、分野別推進戦略として、上記 8 分野の各々のなかでの重点課題が示され、併せて科学技術によるイノベーション創出が初めて明示化された。

一方、この間にも科学技術を取り巻く世界の状況は大きく変化した。地球規模のグローバル課題の明確化・国際競争力の激化・世界的な経済不況の発生などから、科学技術によるイノベーション創出への期待は自ずと高まり、世界の先進各国はいずれも科学技術政策をイノベーション政策の中に位置づける傾向を鮮明にしている。とりわけ日本では 2005 年から人口が初めて自然減に転じて少子高齢化が現実のものとなり、GDP の成長率も鈍化した。

このような背景により、日本でも科学技術の成果がグローバル課題の解決・国民的課題の解決に向けて貢献する、ということへの期待はますます大きくなりつつある。2011 年から予定される第 4 期科学技術基本計画においては、政策課題対応という言葉が本来の意味により近づき、科学技術の成果によって大きな課題を解決していくという、課題解決型の重点化の考え方に移行するのが自然の流れである。そこでは、必然的に分野重点化の考え方は薄まり、課題解決のための科学技術分野の融合や人文科学との融合、あるいは社会システム改革との一体的推進などが議論の中心になっていくものと考えられる。

### 2. 「将来社会を支える科学技術の予測調査」の全体概要

科学技術予測（2000 年以前は「技術予測」と称された）は、1971 年に行われた第 1 回の調査から数えて約 40 年の歴史をもつ。第 1 回から継続実施されてきたデルファイ調査に、近年では国民のニーズの把握・将来へのシナリオ作成などが加えられ、多面的なアプローチにより、科学技術課題とともにそれを取り巻く将来をも見通すという方向へと展開している。

今回の科学技術予測では、将来的に目指す方向性へのイメージを持ち、そこで生じるグローバル課題・国民的課題を解決していくための科学技術を議論の中心に据えた。まず、世界の動向および日本の状況を考慮して、科学技術がチャレンジしていくべき方向性（グランドチャレンジ）を以下の 4 つに絞りこんだ。

- 科学技術力で注目される日本
- グリーンイノベーションによって持続的に成長する日本



### (1) グループワークによるシナリオライティング

グランドチャレンジの一つを大目標とし、そのなかの一つの解をテーマとし取り上げ、科学技術の成果により起こりうる将来の変化とそれに至る科学技術の枠組みや道筋を、専門家の自発的グループによる学際的なディスカッションによって、シナリオの形で表現する。

### (2) デルファイ調査結果に基づく将来シナリオ

第9回デルファイ調査から得られた結果、特に多くの専門家の平均的な将来見通しを基にし、科学技術の成果により起こりうる将来の変化を、国民生活の観点で描く。

### (3) 若い層による将来社会の検討

専門家という特質により年代的に中高年に偏りがちな意見抽出を避けるため、若手のみからなるグループディスカッションにより、(1)(2)とは全く違った観点からの将来への注目点を抽出する。

(1)および(2)は、将来の社会をイメージするという点では類似の表現方法を用いているが、(1)が執筆者グループの意思が強く反映しているシナリオであるのに対し、(2)はより多くの専門家の平均的な相場観による将来シナリオとなっている。また、(2)では母集団が専門家であるという属性のために、結果が中高年層に偏る傾向があるのに対し、(1)は若手から中堅クラスが中心となった専門性の高い執筆者グループを選び、さらに(3)では若い層のみのディスカッションを意図した点が大きく異なる。

## 第Ⅱ部 グループワークによるシナリオライティング

### 1. シナリオテーマおよび執筆グループ

グランドチャレンジの一つを大目標とし、その中の一つの解をテーマとして取り上げ、科学技術の成果により起こりうる将来の変化とそれに至る科学技術の枠組みや道筋を、専門家の自発的グループによる学際的なディスカッションによって、シナリオの形で表現することを試みた。

シナリオの執筆テーマは、I-2で述べた4つのグランドチャレンジの各々に対し、いくつかのテーマを例として設定した。このうち、「科学技術力で注目される日本」としては、①飛躍知による革新的技術の創出、②人類の知の蓄積・文化的価値の創造、③科学技術による人材・雇用創出、などが候補として考えられたが、これらのテーマはその対応への道筋が他の機会に多く語られているため、別の報告書に譲ることとし、ここではシナリオ執筆の対象としなかった。また、「グリーンイノベーションによって持続的に成長する日本」は、今後の世界で最も注目される話題であるため（「第9回デルファイ調査」報告書を参照）、執筆テーマ数を他よりも若干増やした。なお、執筆テーマの題名は、事務局が仮提示したものを、執筆グループが再検討した上で最終的なテーマ名として設定したものである。

#### 執筆テーマ

大目標(グランドチャレンジ)	テーマ名
グリーンイノベーションによって持続的に成長する日本	低炭素社会を実現するスマートグリッド
	世界に展開する水供給システム
	グリーン ICT ビジネス
	農林水産業の総合産業化
	環境変化への適応策
健康・高齢社会の成功モデルとしての日本	少子高齢化時代の健康維持・増進
	健康長寿社会を支える世界最高水準の医療環境
	格差フリーのための健康情報インフラ
暮らしの安全が保障される日本	食料安定供給
	化石資源・鉱物資源の安全保障
	世界最高水準の生活セキュリティ
	信頼できる社会の基盤

執筆者は、各領域を代表する中堅から若手の研究者を代表者(リーダー)とし、代表者が自由に選出した協力者数名とともに形成した学際的グループである。結果的に、多くは、若手から中堅クラスが中心となった専門性の高い執筆者グループとなった。各グループは数回の議論のち、メール等によるやりとりにより執筆を進めた。

執筆グループ

(2010年3月現在)

大目標	テーマ	役割	氏名	所属
グリーンイノベーションによって持続的に成長する日本	低炭素社会を実現するスマートグリッド	リーダー	浅野 浩志	財団法人電力中央研究所社会経済研究所 上席研究員
		メンバー	荻本 和彦	東京大学生産技術研究所人間・社会系部門エネルギー工学連携研究センター 特任教授
			坂東 茂	東京大学大学院工学系研究科機械工学専攻 特任講師
	世界に展開する水供給システム	リーダー	寶 馨	京都大学防災研究所社会防災研究部門 副所長・教授
		メンバー	立川 康人	京都大学工学研究科都市環境工学専攻総合環境学講座水文・水資源工学分野 准教授
堀 智晴			京都大学防災研究所水資源環境研究センター 教授	
グリーンICTビジネス	リーダー	中台 慎二	日本電気株式会社サービスプラットフォーム研究所 クラウド基盤 TG 主任	
	メンバー	石川 隆志	日産自動車株式会社 TCSX(トータルカスタマーサテイスファクション本部)企画グループ	
農林水産業の総合産業化	リーダー	木場 将雄	関西電力株式会社原子力事業本部	
		天野 昌幸	パナソニック電工株式会社EMITプラットフォーム開発センター	
	メンバー	前多 敬一郎	名古屋大学大学院生命農学研究科 教授	
		浅沼 修一	名古屋大学農学国際教育協力研究センター 教授	
		川北 一人	名古屋大学大学院生命農学研究科 教授	
山内 章	名古屋大学農学国際教育協力研究センター センター長			
環境変化への適応策	リーダー	滝沢 智	東京大学大学院工学系研究科都市工学専攻 教授	
	メンバー	小熊 久美子	東京大学大学院工学系研究科都市工学専攻 講師	
		脇岡 靖明	独立行政法人国立環境研究所社会環境システム研究領域 統合評価研究室 主任研究員	
		藤森 真理子	パシフィックコンサルタンツ株式会社地球環境研究所	
		森本 達男	パシフィックコンサルタンツ株式会社事業創造本部 水ビジネス室 室長	
健康・高齢社会の成功モデルとしての日本	リーダー	加藤 規弘	国立国際医療センター研究所遺伝子診断治療開発研究部 部長	
		今井 博久	国立保健医療科学院疫学部 部長	
	メンバー	此下 忠志	福井大学医学部病態制御医学・内科学(3) 准教授	
		高野 裕久	独立行政法人国立環境研究所環境健康研究領域 領域長	
		並河 徹	島根大学医学部病態病理学講座 教授	
		山本 健	九州大学生体防御医学研究所ゲノム集団遺伝学分野 准教授	

大目標	テーマ	役割	氏名	所属
健康・高齢社会の成功モデルとしての日本	健康長寿社会を支える世界最高水準の医療環境	リーダー メンバー	川渕 孝一 片山 敦 菊池 満 田倉 智之  中村 景子 渡辺 貞雄	東京医科歯科大学大学院医学総合研究科 教授 医療法人社団ゆうあい会ゆうあいクリニック 理事長 中外製薬株式会社 執行役員 渉外調査部長 大阪大学大学院医学系研究科医療経済産業政策学 教授 グラクソスミスクライン株式会社渉外部 医療法人社団慈恵医会 常務理事
	格差フリーのための健康情報インフラ	リーダー メンバー	小山 博史  井野 秀一 甲斐 一郎 佐々木 敏 佐藤 和喜 中山 健夫	東京大学大学院医学系研究科臨床情報工学分野 教授 独立行政法人産業技術総合研究所人間福祉医工学研究部門操作スキル研究グループ 主任研究員 東京大学大学院医学系研究科公共健康医学専攻行動社会医学講座老年社会学分野 教授 東京大学大学院医学系研究科公共健康医学専攻疫学保険学講座社会予防疫学分野 教授 日本 IBM 株式会社公共サービス事業部 ソリューション・サービス事業部長 医療サービス 理事 京都大学大学院医学研究科社会健康医学系専攻健康情報学分野健康情報学 教授
暮らしの安全が保障される日本	食料安定供給	リーダー メンバー	山内 章  浅沼 修一 川北 一人 前多 敬一郎	名古屋大学農学国際教育協力研究センターセンター長 名古屋大学農学国際教育協力研究センター 教授 名古屋大学大学院生命農学研究科 教授 名古屋大学大学院生命農学研究科 教授
	化石資源・鉱物資源の安全保障	リーダー メンバー	谷口 一徳 加藤 秀和 菅野 昭久 長野 研一	出光興産株式会社先進技術研究所 副所長 DOWA エコシステム株式会社 新日本石油開発株式会社技術部 副部長 新日本製鐵株式会社原料第二部 シニアマネジャー
	世界最高水準の生活セキュリティ:減災型社会の実現	リーダー メンバー	多々納 裕一  大志万直人 澤田 純男 中北 英一 堀 智晴	京都大学防災研究所社会防災研究部門防災社会システム研究分野 教授 京都大学防災研究所地震防災研究部門 教授 京都大学防災研究所地震災害研究部門 教授 京都大学防災研究所気象・水象災害研究部門 教授 京都大学防災研究所水資源環境研究センター 教授
	信頼できる社会の基盤	リーダー メンバー	飯田 泰之 荻上 チキ 芹沢 一也 西田 亮介	駒澤大学経済学部 准教授 株式会社シノドス プランナー 株式会社シノドス 代表取締役 慶應義塾大学大学院政策・メディア研究科 助教/後期博士課程

## 2. シナリオの定義・作成に当たっての意識・書かれるべきことなど

以下が、本調査でいうシナリオの定義やシナリオ作成に当たっての執筆グループの意識、シナリオに書かれるべきことなどであり、これらが事前にシナリオ執筆グループに提示された。

### 1. 本調査でいう「シナリオ」とは

- ◆ 「シナリオ」とは、日本を前提とし、「将来目標(将来社会のあるべき姿)およびそれに到達するための道筋について、科学技術の寄与を中心に記述したもの」である。
- ◆ 「シナリオ」とは、執筆者が日本の将来目標への道筋を示す、ひとつの規範的シナリオ(こうあるべき、こうあってほしい、というシナリオ)である。将来社会に影響を与える要素等を基にケース設定を行って、複数の代替案を示すものではない。ただし、将来目標を実現するための道筋の可能性を複数示す場合はあってもよい。

### 2. テーマについて

- ◆ 以下4つをシナリオの大目標(我が国の将来のあるべき姿)とする。
  - 科学技術力で注目される日本
  - グリーンイノベーションにより持続的に成長する日本
  - 健康・高齢社会の成功モデルとしての日本
  - 暮らしの安全が確保された日本
- ◆ 大目標の下に、2～5個程度のテーマ(別表参照)を設け、このテーマごとのシナリオを作成する。テーマは分類ではないため、すべての科学技術領域をカバーしているわけではない。
- ◆ 当初設定する各テーマ名は仮のものであり、議論の範囲や焦点の当て方等によって、適宜適切なテーマ名に変更可能である。
- ◆ テーマは分類ではない。むしろ、目指す方向性を示す形容詞などが付与されていることが望ましい。

### 3. 執筆者について

- ◆ 執筆グループが、提示される各テーマに対して、シナリオを作成する。
- ◆ 執筆グループは、各テーマに関連する専門家3～5名から成る。そのうち1名を代表者とする。
- ◆ 執筆グループは、必要に応じて、科学技術専門家のみならず、人文・社会科学専門家を含めてもよい。また、別途進行中のデルファイ調査を参考にするために、デルファイ調査の分科会メンバーが含まれることが望ましい。
- ◆ 執筆グループは、検討の過程において、必要に応じて、他の専門家等の意見を聞くことができる。また、執筆協力者として追加することもできる。
- ◆ 必要に応じて、事務局が適宜、執筆作成過程をサポートする。

### 4. シナリオ作成に当たっての執筆グループの意識

- ◆ 「シナリオ」は、全般的に、できるだけ平易で具体的であることが望ましい。

- ◆ 目標を達成するために、誰が何をどのように行うべきかを意識する。
- ◆ 科学技術の進展と社会システム改革を同時に進めていくことを意識する。
- ◆ 専門分野にこだわらず、幅広い視点で検討を行う。個別技術に留まらず、全体システムとして社会の中でどう機能するかを視野に入れる。
- ◆ 科学技術の要素としては継続的に重要であるもののほか、従来あまり採り上げられていなくても今後必要な新たな発想、新たな事項の発見の必要性にも力点を置く。
- ◆ 世界の中での日本を意識する。
- ◆ 可能であれば、我が国の成長戦略を盛り込む。

#### 5. 作成手順

- ◆ 執筆グループは、テーマの話題を中心として、目標（我が国の将来のあるべき姿）並びに目標到達への道筋について、認識を共有し、シナリオ執筆の方向性を定める。次いで、グループでの議論を基に、別途提供される仕様に沿って各テーマのシナリオ案を執筆する。
- ◆ 他のシナリオとの内容重複や矛盾を可とする。したがって、シナリオ間の調整は行わない。また、別途進行中のデルファイ調査結果との整合性を求められない。
- ◆ 各シナリオ完成後、事務局が目標ごとに各シナリオを総括する。この際、必要に応じて、執筆グループ代表者から助言等をいただく。

#### 6. 各シナリオの構成

- ◆ 各シナリオは、原則的に「①(なんらかの変化が起こった)将来社会の姿」、「②目標到達への道筋」、の2部構成とする。
- ◆ 各シナリオには、記述のほか、概念をあらわす分かりやすい図などをできる限り加えることが望ましい。

#### 7. シナリオ各部で記述する項目

##### ①(なんらかの変化が起こった)将来社会の姿

- ◆ テーマとの関連において、日本を前提とし、なんらかの(ポジティブな)変化が起こった社会の姿を科学技術の寄与を中心に記述する。
- ◆ 到達点イメージとして、本調査の対象期間の最終である30年後(2040年頃)を設定する。ただし、30年後の設定が難しい場合は、設定変更を明記の上、15年後(2025年頃)を設定してもよい。
- ◆ 可能であれば、マイルストーンとして、中間点である15年後(2025年頃)の社会像や成果を併せて記述する。15年後の社会を到達点とした場合は、5年後(2015年頃)あるいは10年後(2020年頃)をマイルストーンとする。
- ◆ 途中成果、波及効果、派生効果(副産物としての効果)等が期待できる場合、それを強調してもよい。
- ◆ 設定した仮定に、特定の条件があれば明記する(例:ある科学技術分野における大きなブレークスル

一、日本経済の状況変化、等)。ただし、起きる確率が高い環境変化に関しては、前提として受け入れられることとする(地球温暖化傾向、日本の人口減少、日本の少子高齢化傾向、新興国の台頭など)。

## ②目標到達の道筋

- ◆ ①を実現するための道筋を、科学技術の発展とその成果を中心に記述する。
- ◆ 将来目標を実現するための道筋が複数ある場合には、原則的には最も可能性の高い道筋を示す。しかし、同等の可能性がある場合には、複数の道筋を併記する形で記述してもよい。
- ◆ 「何を」だけでなく、「誰が」「どのように」をできる限り明確にする。
- ◆ 30年後(難しい場合は、15年後)に目標に到達するためには、いつ頃までに何ができていなくてはいけないのかを示す図を作成することが望ましい。
- ◆ 特に、これまであまり真剣に取り組まれていない新しい事項、既存の科学技術の外挿による予測を大きく変える可能性のある事項の発掘に力点を置く。
- ◆ 可能であれば、世界を意識した上での我が国の成長戦略を盛り込む。
- ◆ 道筋を具体的に記す要素項目としては、仕様を埋める形で以下を記述していく。ただし、該当する事項がない、関連が少ない、などと思われるものは省略して構わない。また、これだけはチャレンジすることが必須と思われる事項があれば、それを特筆する。
  - 重点的に取り組むべき研究開発課題
    - ・ 継続して重点化すべき課題
    - ・ 新たに重点化すべき課題
  - 重点的に取り組むべき基礎研究課題
    - ・ 継続して重点化すべき課題
    - ・ 新たに重点化すべき課題
  - 人材育成・確保(どのような人材が、どの部分に必要なのか)
  - 融合・連携の必要性(融合・連携すべき分野・領域、システム化等)
  - 改革や導入が必要な社会システム・制度・マネジメント等
  - 科学技術政策と他の政策との関連(政策連携等)
  - 産業・ビジネス・雇用の創出、科学技術と社会目標とのギャップ・橋渡し
  - 人々の価値観やライフスタイルの変化、社会受容等
  - 国際的視点(国際協調、国際競争、世界の一員としての視点、東アジアの視点、等)
- ◆ 根拠として必要であれば、解決すべき問題を明確化するため、現状分析を記述する。

## 3. シナリオの仕様

各シナリオに著わされる内容にある程度の統一感を持たせるため、執筆グループに以下のような仕様と模擬的な執筆サンプルを提供した。各執筆グループは、以下の仕様に沿ってグループディスカッションを進め、執筆およびイメージ図の作成を行った。

### I、シナリオのテーマ

「提示されます」

以下の記述内容にそぐわない場合は、多少の変更も可能です。

形容詞あるいは副題を添えてもかまいません。

### II、本シナリオの目指す大きな目標

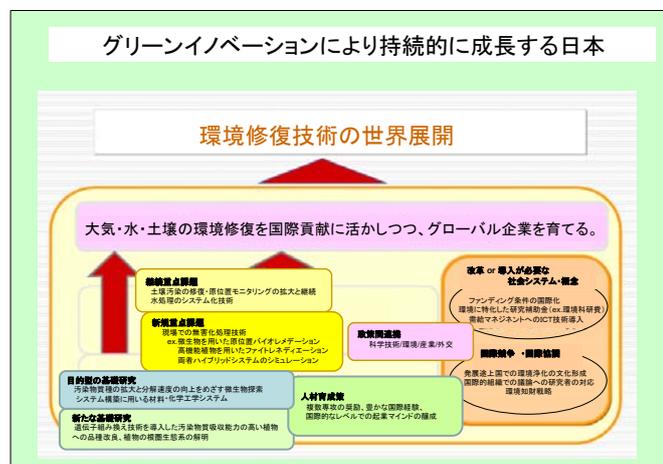
「(4つの大きな目標のひとつが)提示されます」

### III、本シナリオの概念図

以下に記述する内容のキーワードを、概念図を埋める形で作成してください。

(以下を記述後に、キーワードを抽出して、概念図を作成しても結構です。)

概念図の例



### IV、本シナリオの内容

#### IV-1、本テーマに関わる将来の姿

IIIの概念図の内容を説明する、以下の(1)(2)について、1000~3000文字程度で記述してください。適宜、図表を用いても結構です。

##### (1) 大きな鍵となる事項

可能であれば、以下の(2)(3)に達するために大きな鍵となる事項を1文程度で表してください。

##### (2) 約30年後の将来の姿

- ・ テーマとの関連において、日本を前提とし、なんらかの(ポジティブな)変化が起こった社会の姿を、科学技術の寄与を中心に記述してください。
- ・ 到達点イメージとしては、30年後(2040年頃)を設定。(ただし、30年後の設定が難しい場合は、設定変更を明記の上、15年後(2025年頃)を設定してもよい。)

##### (3) 約15年年後の姿

- ・ 可能であれば、マイルストーンとして、中間点である15年後(2025年頃)の社会像や成果を併せて記述してください。15年後の社会を到達点とした場合は、5年後(2015年頃)あるいは10年後(2020年頃)をマイルストーンとする。

注) (1) (2)について、

- ・ 途中成果、波及効果、派生効果(副産物としての効果)等が期待できる場合、それを強調しても構いません。
- ・ 設定した仮定に、特定の条件があれば明記してください(例:ある科学技術分野における大きなブレークスルー、日本経済の状況変化、等)。
- ・ ただし、起きる確率が高い環境変化に関しては、前提として受け入れることとする(地球温暖化傾向、日本の人口減少、日本の少子高齢化傾向、新興国の台頭など)。

#### IV-2、目標とする将来への到達の道筋

IV-1を実現するための道筋を、科学技術の発展とその成果を中心に記述してください。具体的には、以下の留意点を参考に道筋の総論と各要素項目を書いてください。必要があれば、現状の分析を追加してください。

(留意点)

- ・ 将来目標を実現するための道筋が複数ある場合には、原則的には最も可能性の高い道筋を示す。しかし、同等の可能性がある場合には、複数の道筋を併記する形で記述してもよい。
- ・ 「何を」だけでなく、「誰が」「どのように」をできる限り明確にする。
- ・ 30年後(難しい場合は、15年後)に目標に到達するためには、いつ頃までに何ができていなくてはいけないのかを示す図を添付することが望ましい。
- ・ 特に、これまであまり真剣に取り組まれていない新しい事項、既存の科学技術の外挿による予測を大きく変える可能性のある事項の発掘に力点を置く。
- ・ 可能であれば、世界を意識した上での我が国の成長戦略を盛り込む。

(要素項目)

道筋を具体的に記す要素項目としては、仕様を埋める形で以下を記述していく。ただし、該当する事項がない、関連が少ない、などと思われるものは省略して構わない。

- 重点的に取り組むべき研究開発課題
  - ・ 継続して重点化すべき課題
  - ・ 新たに重点化すべき課題
- 重点的に取り組むべき基礎研究課題
  - ・ 目標を明確にして進める基礎研究課題
  - ・ 新たに取り組むべき課題
- 人材育成・確保(どのような人材が、どの部分に必要なものか)
- 融合・連携の必要性(融合・連携すべき分野・領域、システム化等)
- 改革や導入が必要な社会システム・制度・マネジメント等
- 科学技術政策と他の政策との関連(政策連携等)

- ▶ 産業・ビジネス・雇用の創出、科学技術と社会目標とのギャップ・橋渡し
- ▶ 人々の価値観やライフスタイルの変化、社会受容等
- ▶ 国際的視点(国際協調、国際競争、世界の一員としての視点、東アジアの視点、等)
- ▶ 以上のうち、これだけはチャレンジすることが必須と思われる事項があれば、それを特筆する。

(現状分析)

上記を導き出した根拠として、解決すべき問題を明確化するために必要であれば、2010年時点の現状分析を記述してください。ただし、現状分析の記述は必須ではありません。

これらの仕様に基づいて描かれた各グループのシナリオを次ページ以降に示す。シナリオは各執筆グループの見解をそのまま掲載したものである。ただし、執筆グループは、執筆した内容について後日その内容の当確などに責任を問われないことを条件とした。

#### 4. 執筆グループによるシナリオ

##### 低炭素社会を実現するスマートグリッド

リーダー：財団法人電力中央研究所、東京大学 浅野浩志

##### 世界に展開する水供給システム

リーダー：京都大学 寶 馨

##### グリーン ICT ビジネス

リーダー：日本電気株式会社 中台 慎二

##### 農林水産業の総合産業化

リーダー：名古屋大学 前多 敬一郎

##### 環境変化への適応策

リーダー：東京大学 滝沢 智

##### 少子高齢化時代の健康維持・増進

リーダー：国立国際医療センター研究所 加藤 規弘

##### 健康長寿社会を支える世界最高水準の医療環境

リーダー：東京医科歯科大学 川淵 孝一

##### 格差フリーのための健康情報インフラ

リーダー：東京大学 小山 博史

##### 食料安定供給

リーダー：名古屋大学 山内 章

##### 化石資源・鉱物資源の安全保障

リーダー：出光興産株式会社 谷口 一徳

##### 世界最高水準の生活セキュリティ:減災型社会の実現

リーダー：京都大学 多々納 裕一

##### 信頼できる社会の基盤

リーダー：駒澤大学 飯田 泰之

## 低炭素社会を実現するスマートグリッド

リーダー 財団法人電力中央研究所、東京大学 浅野浩志  
東京大学 荻本和彦  
東京大学 坂東茂

### 1. 将来社会の姿

#### (1) 大きな鍵となる事項

グリーン社会インフラとして、スマートグリッドの技術開発と国際的な普及を図る。我が国は、低炭素型電力需給システムづくりをリードし、世界の温室効果ガス(GHG)削減および新産業振興、雇用創出、地域活性化に寄与する。

#### (2) 約 30 年後(2040 年頃)の将来の姿

スマートグリッドは、図1に示すように、風力発電や太陽光発電(PV)などグリーンではあるが、発電出力が変動する再生可能エネルギー電源の大規模導入に向けて、高速通信ネットワーク技術等を活用し、住宅用PVシステムなどの分散型電源、さまざまな場所に設置される蓄電池や需要側の情報を統合して、需要側と集中形大規模電源と送配電網などの供給側の一体運用により、高効率、高品質、高信頼度のエネルギー/電力供給システムの実現を目指す次世代電力システムである。我が国では、特にPVなど分散型電源の大量連系への対応が重視され、需要地系統など能動的な配電系統と需要側二次電池(定置用、電気自動車など移動用)や蓄エネルギー機器(ヒートポンプ(HP)給湯機など)との統合制御など需給両サイドが連携した考え方が注目されている。

欧米を中心に、既存系統のスマートグリッド化を国が主体となって政策的に推し進めており、産業界は大きなビジネスチャンスとして期待している。中国等の新興国においても経済発展を支える新たな社会インフラ整備の一環として、基幹系統から需要家系まで上流から下流まで全ての電力需給チェーンで今後の市場の拡大が期待されている。先進国、新興国の多くの地域で 2030 年頃までにスマートグリッド化することを目指しているが、実際に国レベルで導入・普及が完成するのは 2040 年頃と想定される。

#### (3) 中間点である約 15 年後(2025 年頃)の姿

スマートグリッド化をグリーンニューディールと呼ばれる産業政策の一環として強力に推し進めようとしている米国においては、スマートメーター(遠隔検針を含め双方向の情報通信機能を持つ電力量計)が本格的に普及し、双方向通信ネットワークを活用する新しいタイプのデマンドレスポンスプログラムが効果を持ち始め、需給バランスを維持し、風力発電や太陽光発電を中心に再生可能エネルギー電源がある一定の供給力として寄与しはじめているであろう。ここで、デマンドレスポンス

プログラムとは、系統運用側から需要家に価格などのシグナルを送り、PVの余剰電力が大量に予想されるとき、分散エネルギーマネジメントシステム(HEMS,BEMS)などを介してヒートポンプ給湯機や電気自動車などのエネルギー貯蔵機能により、電力負荷の時間帯を調整し、系統の需給バランスを図るものである。また、バッテリーを搭載した自動車との間で充電制御(G2V)、二次電池の耐久性向上などの技術進歩によっては充放電制御(V2G)が実現している。

我が国では、再生可能エネルギー電源として、太陽光発電(PV)が大量連系(約40GW)している頃であり、現状の電力系統のままでは、配電電圧の制御問題や、一部地域では、余剰対策が必要になってくることが予想される。そのため、PVの集中連系など問題が生じようとしている一部の地域では、需要サイドのスマートグリッド(供給サイドはすでにスマートグリッド化)が構築され始めているであろう。

また、プラグインハイブリッド車(PHV)、電気自動車(EV)の本格的普及時期であり、自動車へのバッテリー充電が集中すると、電力系統に大きな影響を与えるため、いかにピーク負荷を増加させないで、走行したいときに十分な蓄電池の残存容量(SOC)があるというユーザーの利便性を両立させるスマート充電が導入されよう。

スマートメーターを含む先進計量システム(Advanced Meter Infrastructure, AMI)の導入により、需要家の電力使用状況をリアルタイムで把握することが可能になり、プライバシー保護などを十分配慮した上で、ホームセキュリティや単身高齢者などの見守りサービスにも応用可能である。



図1 日本におけるスマートグリッドのイメージ

出典: 電力中央研究所

## 2. 目標とする将来への到達の道筋

### (1) 重点的に取り組むべき研究開発課題

スマートグリッド化のための最大の課題は、PV や風力発電などの本格利用を円滑に行うことである。そのためには、PV など分散型電源やリチウムイオン電池などの要素技術と、多様な分散型エネルギー資源を連携させる双方向通信技術および分散エネルギーマネジメントなどの制御技術に重点的に取り組む。近年、技術革新が目覚ましいセンシング技術と無線ネットワーク技術が融合したセンサネットワークは、情報家電やEVなど需要家系のスマートグリッド化の基盤となる。需要と供給の時間的ミスマッチを解消するため、あるいは大きく変動するエネルギーの出力を安定化するためには、需給制御技術およびエネルギー貯蔵装置はキーテクノロジーである。一方、低炭素電力供給のためには、スマートグリッドの基盤技術として従来から進められている原子力発電、火力発電等の高効率化のための技術開発も着実に進められる必要がある。以下に主な重点課題をあげる。

#### ① 太陽光発電(PV)システム

住宅屋根設置式では、限られた設置面積を活かすには、効率向上が重要である。メガソーラーなど非住宅向けも含めて、現在、市場で主流となっている結晶シリコン系やアモルファスシリコン以外の太陽電池、例えば、色素増感、有機薄膜など次世代の太陽電池を用いた次世代 PV システムの研究開発が進みつつある。現行システムより高効率、長寿命、信頼性向上、低コスト、柔軟な設置性(フィルム状など)などの特徴を有するシステムが期待される。また、スマートグリッドの要件として PV など気象依存型発電の出力の変動緩和が挙げられ、仮にエネルギー貯蔵性を有する PV が開発されれば、出力安定化の負担が減少する。

#### ② 低コスト、高安全二次電池システムの開発

リチウムイオン電池などを中心に、住宅用から系統設置用までさまざまな規模の定置用電力貯蔵装置が開発されつつある。配電用変電所等電力系統側に設置される大規模な電力貯蔵装置には将来、週間運用(電力需要の少ない週末に PV の発電電力を貯蔵し、平日に放電する)に耐える低電力損失と設備費のコストダウンが望まれる。また、EV、PHVの本格的な普及を図るには、車載用など移動体用の低コスト二次電池(重量エネルギー密度 100Wh/kg 以上、出力密度 2000W/kg 以上、コスト 3 万円/kWh 以下)の開発が求められる。

#### ③ 高効率高周波電力変換技術

パワーエレクトロニクスは、半導体による電力変換や電力開閉を行う技術分野で、その適用範囲は、電力の生産、流通、利用の様々な用途で使われ、スマートグリッドの主要技術である。PV用パワーコンディショナー、ヒートポンプ給湯機、エアコン、二次電池、自動車用バッテリーなど数多くの機器の電力のインタフェースとして必要であり、これらの機器の省エネルギー

ギー化、高機能化、コンパクト化に寄与する重要な技術である。研究開発課題として、低損失パワー半導体である炭化ケイ素(SiC)の単結晶膜の低欠陥・結晶成長の高速化、低損失・高周波素子に基づく、スイッチングモジュール、電力変換回路の開発などがあげられる。

#### ④ 高速大容量でセキュアな情報通信制御技術

広範囲に散在する制御所や系統各所に設置されるセンサーとの広域ネットワークは、スマートグリッド化により、より大量の設備監視情報が伝送されることが想定され、大容量で高速の通信を可能とする方式が求められる。また、配電やアクセス系ネットワークにおいて、需要家には遠隔からの検針・情報提供(スマートメーター)やPV余剰電力対策のための需給一体的な連携、エネルギーマネジメントなどを実現する需要家ゲートウェイが設置される。このゲートウェイと電力系統との双方向の情報交換を高いセキュリティと低コストで実現できる情報通信網を構築される必要がある。光・無線融合型通信ネットワークの構成法、IP ベースの標準通信プロトコル、アクセス容易なネットワークへの情報セキュリティ対策、機能モジュール型の需要家ゲートウェイなどの開発が行われつつある。

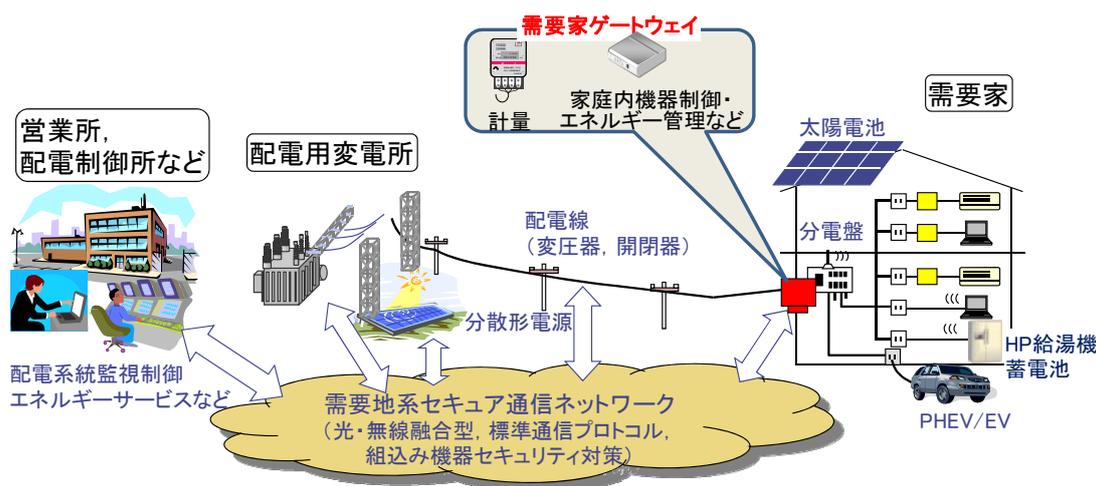


図2 需要地系セキュア通信ネットワーク

出典：電力中央研究所

#### ⑤ 分散エネルギーマネジメントシステムと自動化デマンドレスポンスシステム

建物の需要予測、PV による電力や太陽熱による温熱などの供給予測、省エネルギーおよび低コスト化、エネルギーシステム全体との協調のもとでの最適スケジューリング、実際の建物のエネルギー需給バランスの下での最適制御など分散エネルギーマネジメント技術が重要な研究課題である。これまで、HEMS などその基盤技術はある程度開発されてきたが、スマートグリッドの基本的な考え方であるシステム全体最適化の観点から、連携されたエネルギーシステムはまだ完成していない。特に PV や風力発電など自然変動電源が大量に普及すると、正確な気象情報・予測が必要であり、時間別電力使用量などの需要側情報も個人情報保護

の観点からその利用方法には課題があり、セキュアな利用方法が研究され始めている。

電力需要の価格弾力性を活用して、一時的に購入電力を調整する「デマンドレスポンス (Demand Response, DR)」は、電力系統の状態に応じた需要家側機器の自動制御を支援し、太陽光発電の有効利用に寄与することが期待できる。自動化デマンドレスポンスシステム (Automated Demand Response)とは、電力会社(電力系統運用者)が送信するDR制御シグナルに対して、ビルや工場の設備管理者など人を介在させることなく、需要サイドの機器を自動的に制御し、需要家の電力消費パターンを変更するDRシステムである。

自動化デマンドレスポンスには、室内の温度・湿度等環境計測、人感センサー等のセンサネットワークを組み込んだ分散エネルギーマネジメントシステム(HEMS、BEMS)が技術の基盤になりうる。

系統運用者からみたとき、自動化デマンドレスポンスシステムは、確実な需給調整効果を可能とし、供給力と同様に評価可能なものにする。特に、災害時や系統事故時など緊急時の需給調整に活用できることが大きな利点である。

また、長期的な研究課題として、PV や風力発電の出力変動抑制技術としても DR プログラムが研究され始めている。プラグインハイブリッド車や電気自動車(EV)の充電は、基本的には安価な深夜電力を使い、高効率のヒートポンプ給湯機は、CO<sub>2</sub> 排出係数の低い原子力発電の比率が高い深夜に貯湯するが、将来、PV が大量普及すると、周波数調整が困難になり、余剰電力対策として、EV やヒートポンプ給湯機の昼間運転により、PV の出力抑制を回避でき、また、スマート充電も併用することで、電圧や周波数の制御を支援する。

## ⑥ 再生可能エネルギー出力予測技術

再生可能エネルギー電源導入の最大の課題は、PV、風力などの時間、天気による出力変動であり、これを含めて電力需給計画を策定するためには、一週間前、前日、12 時間前、6 時間前、3 時間前、1 時間前など、需給計画業務と整合した時点での確度の高い出力予測が必要となる。

現在の気象予測技術、数値シミュレーションは、降雨、大風など、災害としての気象予測に重点が置かれている。気象予測と間欠性電源の発電実績の関係を分析するなどにより、PV や風力発電の出力予測が可能となると考えられる。

今後、多数地点の必要頻度における発電実績の蓄積を早期に開始し、長期のデータ蓄積を確保するとともに、データの蓄積により、発電特性解析、発電予測技術の開発を行うことが必要である。

## ⑦ アプリケーション技術

スマートグリッドによる電力需給に関する情報の活用としては、主たる目的である再生可能エネルギー電源の出力変動を含めた電力需給の高度化以外にも、以下に示すように電力需給関連、それ以外に様々な応用が想定されており、ニーズに応じた技術開発を進めることが必

要な分野である。

A) METER DATA MANAGEMENT SYSTEM (MDMS)による、様々なシステムへの情報提供

- ・顧客情報システム (CIS)、請求システム
- ・停電管理システム (OMS)
- ・電力品質管理と需要予測
- ・配電作業管理(Mobile Workforce Management (MWM))
- ・地理情報システム(GIS)
- ・変圧器需要管理 (TLM)

B) 次世代の系統運用のゲートウェイとなる

- ・次世代配電運用 - Advanced Distribution Operations (ADO)として、配電管理、自動化、事故復旧、分散電源運用、配電地理情報システム、マイクログリッド運用、その他
- ・次世代送電運用 Advanced Transmission Operations (ATO)
- ・次世代資産管理 Advanced Asset Management (AAM)として、需要家サービス、システム運用、設備状態の情報管理、送配電計画の最適化、設備設計と建設、資産運用、状態ベース保全、作業、資材管理、モデリングとシミュレーションなど

## ⑧ 一般生活支援アプリケーション

電力の使用量を、家庭の合計あるいは機器毎に、リアルタイムあるいは1分～10分程度の頻度で記録して参照できれば、家の中の生活、機器のパフォーマンスなどを想定することができる。見守り、省エネ診断・アドバイス、機器の買い替えの推奨などを行うことができる。ニーズとシーズの組み合わせにより、順次多様なアプリケーション技術の開発が求められる。

## ⑨ 高効率発電技術

原子力発電の場合はプラントの信頼性確保を図るため、環境・構造強度評価技術の開発が必要である。ガスタービンではタービン翼冷却技術の発展による高効率化、バイオマス発電に関しては、組成が安定していない燃料の高効率燃焼技術の開発が求められる。

## (2) 重点的に取り組むべき基礎研究課題

ここでは、(1)よりもさらに基礎的な研究により、ブレークスルーが期待される課題を挙げる。

### ① 二次電池の材料開発

一回の充電で500kmの走行距離を可能とする低価格の電気自動車を実現するためには、現在のリチウムイオン電池の電池材料や構造では到達できないため、新しい原理の次世代電池の開発が迫られている。また、大量普及時には、希少資源に依存しない材料の開発が望ましい。

### ② 次世代高効率太陽電池のための新材料技術

長期的には、シリコンや GaAs を用いた太陽電池を凌駕するエネルギー変換効率、例えば、50-70%の変換効率をもつ究極の太陽電池が期待される。これは現状延長の技術では困難と考えられ、量子ドットを用いる太陽電池や中間バンド太陽電池など物性論の基礎研究から始める段階にある。

### ③ 再生可能エネルギー発電出力予測に向けた気象予測技術

気象の数値シミュレーションにおける再生可能エネルギー向けの対応としては、例えば太陽光発電用の日射予測を行うなど、基本的な構造や機能を向上させる余地があると考えられる。これらの新しいニーズを踏まえ、気象シミュレーションの再開発などを検討する余地は大きい。

### ④ 高効率高周波スイッチングデバイス

Si を超えた低損失、耐熱特性を持つ SiC、GaN パワーデバイスは、今後 10 年間で大幅な省エネルギー効果を見込めるため、重点的な研究開発が必要である。実現に向けては、高品質で低価格の基盤の量産化に向けた技術開発が鍵となるとされている。さらにその先には更に優れた特性が期待されるダイヤモンドデバイスも研究対象となっている。

### ⑤ 情報通信のセキュリティ技術

需要家内やアクセス系ネットワークの情報収集に ZigBee など無線センサネットワークが使われようとしているが、ネットワークを通じた攻撃に対する脆弱性などセキュリティ上の懸念があり、制御信号の伝送にはより頑健な方式の開発が必要である。電力系統の全ての範囲でネットワーク化により、データやアプリケーションの連携が進むと、システムのみスや外部からの不正アクセスなどによりシステム障害が引き起こされる懸念が増大する。系統側は外部ネットワークから隔離されているが、需要家側でインターネットによる接続が増えると、暗号化、侵入検知システム、認証などシステムの安全性を高める技術の開発を進める必要がある。

### ⑥ 原子力・火力発電、バイオマス発電等の高効率化のための超高温耐性材料開発

本項目はスマートグリッドには直結しないが、電力供給の低炭素化を目指す上で、重要な基礎研究課題である。火力発電の高効率化には、サイクルの高温化が欠かせないが、そのためにはさらなる高温耐性材料の開発が必要である。原子力に関しては、高強度、耐熱性、耐照射性を持つ材料と共に、同様のコーティング・ライニング材料の開発が必要である。

### (3) 必要とする人材と育成・確保の方策

我が国はこれまで、電力技術分野の人材は豊富で、すでに海外における技術協力やビジネスを展開している。しかし、1990 年代の電力自由化や電力需要の停滞による設備投資抑制等により、多くの若手研究者を惹き付ける分野ではなくなってきており、再活性化の取組みが行われていると

ころである。スマートグリッド分野の研究開発は改めて、電力分野、情報技術分野、再生可能エネルギー、二次電池等の研究を活発にする絶好の機会であり、国際競争に勝ち抜くために、人材の結集、育成が緊急の課題である。

特に人材面で、我が国で欠けているのは、スマートグリッドのようなシステム統合化が必要な分野のリーダー層であり、電力、家電、住宅、通信など個別分野の専門家であると同時に、新規研究開発プロジェクトを戦略的に先導できる洞察力を備えることが重要である。なお、スマートグリッドには、以下の専門分野が関連する。

電力系統工学、送配電工学、電力機器工学、材料科学、機械工学(ヒートポンプなど熱機器関係)、制御工学、システム工学、建築工学、都市工学、気象、情報・通信、心理、行動科学、制度設計、等々

#### (4) 融合・連携の必要性和融合・連携すべき分野・領域、融合の方法

電力技術を中心に、情報・通信技術、建築・都市工学、制度設計など総合的な研究が必要である。方法としては、家庭、業務用ビル、コミュニティなどに対して、電力供給に限らず、生活支援や他のサービスを含めた総合的なソリューションの提供を目指す。例えば、家庭であれば、世帯、気候などの条件に基づき、住宅の構造・機器の選択、運用、メンテナンスなどをカバーし、快適性、省エネ性、経済性、安全性、エネルギーシステムとの協調を追求できるものがあげられる。

#### (5) 改革や導入が必要な社会システム・制度・マネジメント等

現在、我が国の電力供給事業は、電気事業法などの規制に基づき、公正・公平・低廉な電気料金のもとで安定供給が図られている。電力供給の低炭素化には、住宅用PVからの逆潮流を制御するなどこれまでとは異なる事業環境となり、現行の規制が必ずしも最適なものではなくなる可能性がある。そのため、新エネルギーや二次電池、ICT などスマートグリッドに関連するさまざまな技術進歩やその普及状況、社会経済環境の変化に応じて、安全規制や料金設定方式の見直しが必要となることが予想される。例として、分散型電源の系統連系基準、電池や電源を設置する際の建築基準法や消防法、電力使用データなどプライバシーにかかわるものに関しては消費者保護の規制が関わってくる。

#### (6) 科学技術政策と他の政策との関連(政策連携等)

スマートエネルギーコミュニティなどは、住宅、都市インフラにかかわる政策、再生可能エネルギーの導入政策など産業政策、エネルギー政策、環境政策、送配電ネットワークにかかわる電力政策などと関連する。また、スマートメーターやスマート機器などに無線通信が多用されるため、通信規制が関連する。

#### (7) 産業・ビジネス・雇用の創出への効果と促進方策

スマートメーターへの投資や PV、二次電池にかかわる産業の成長、雇用増が期待される。米国

のみでスマートグリッド化により、2030年までに年間5000億円の経済的便益があるとされている。中国など新興市場を含めると莫大な市場創出効果が期待される。異なる業種の産業が参画するため、相互連携を図るコンソーシアムや国際標準など政府も積極的に支援する促進策が有効である。

#### (8) 目標到達に向けた価値観やライフスタイルの変更

一般の人の環境意識が変わることがスマートグリッド化へのドライビングフォースである。ただし、米国では政府の説明不足により、スマートメーター導入初期において消費者からのクレームなど問題が発生している。スマートグリッドのユーザーへのメリットを明示し、政府による需要家教育が必須である。スマートグリッドの主要なメニューであるダイナミックプライシングに対応するため、家電機器の使用時間帯を変更するなどライフスタイルへの影響が予想される。スマートメーターなどの計測情報を活用して、電力使用状況やCO<sub>2</sub>排出状況を需要家が把握でき、エネルギーの効率的利用などが促進されることが期待されている。高コストの再生可能エネルギー利用およびそのインフラであるスマートグリッドを、環境意識を強く持つ層や高所得者層のみが受け入れるのではなく、すべての国民がそのメリットを享受するような動機付けが必要である。

#### (9) 目標到達に必要な国際的視点(国際協調、国際競争、世界の一員としての視点、東アジアの視点等)

国ごとの電力事情や理想とする将来ビジョンが異なるため、今後、取組むべき内容も当然異なる。また、スマートグリッドは、グローバルなGHG削減、途上国の社会経済開発等社会的な便益が大きい。

製造事業者が国外市場をターゲットとする場合、国際標準化策定のための、国際協調が不可欠であると同時に、政府は、どのようなアライアンスを組むかなど戦略的な科学技術外交の推進が求められる。

現段階では、欧米の主要製造事業者と競合しており、価格競争力の面で韓国、中国などからの参入が増加し、国際競争は、激化することが見込まれる。

日本だけのニーズではなく、世界のニーズを取り込んだ、建物の分散エネルギーマネジメントとそれを支える需給技術の体系に関するビジョンの策定が待たれる。これにもとづく、技術開発の方向性を示し、家電製品レベルの大量生産に適した技術の選択と開発が必要である。

(参考)

新たな技術開発という位置づけではないが、スマートグリッド構築に向けて注目度が高いものを下記に示す。

・エネルギー面的利用システムの開発

都市部や住宅地域において街区単位で自然・未利用エネルギーを活用(建物間で電力・熱・水などを融通)し、物質循環と一体となった面的利用エネルギーシステム(都市部のヒートアイランド現象を緩和し、都市部でも郊外でも低炭素コミュニティづくりに寄与する)

**【参考資料】**

- [1] 八太啓行、他、需要地系統における蓄電池と給湯負荷を用いたエネルギー運用の検討、平成20年電気学会電力・エネルギー部門大会論文集、2008年
- [2] 芹澤善積、Smart Grid プロジェクトにおける ICT の動向と次世代グリッド(TIPS)のための通信ネットワークの課題、電力中央研究所報告 R08028、2009年
- [3] 高橋雅仁、上野剛、高山正俊、浅野浩志、オフィスにおけるデマンドレスポンス制御試験:需要調整効果と居室内快適性の分析、第26回エネルギーシステム・経済・環境コンファレンス講演論文集、2010年1月
- [4] エネルギー総合工学研究所、平成17年度経済産業省資源エネルギー庁委託調査 超長期エネルギー技術ビジョン、2006年5月
- [5] エネルギー総合工学研究所、平成20年度経済産業省資源エネルギー庁委託調査 エネルギー技術戦略2009、2009年5月
- [6] 日本機械学会技術ロードマップ、日本機械学会誌, Vol.110 No.1067, 付録

# グリーンイノベーションにより持続的に成長する日本

## 低炭素社会を実現するグリーン社会インフラ

### 世界で低炭素エネルギー供給を実現するスマートグリッド

#### 重点課題

- ・太陽光発電システムの高度化
- ・高効率高周波電力変換技術
- ・分散エネルギーマネジメント技術とデマンドレスポンスシステム
- ・再生可能エネルギー出力予測
- ・スマートグリッドに付随して開発されるアプリケーション技術
- ・低コスト、高安全な二次電池システム
- ・高速かつセキュアな情報通信制御技術

#### 基礎研究

- 2次電池、太陽電池のための材料開発
- 物理気象モデル・気象予測技術
- 高効率高周波スイッチングデバイス用材料開発
- 情報通信
- 原子力・火力等高効率化のための超高温耐性材料開発

#### 政策間連携

- エネルギー政策(特に再生可能エネ)/電力政策/環境政策/産業政策/通信規制

#### 人材育成策

- 関連する分野の個別要素技術の専門家でありながら、全体最適の形を見通す洞察力のあるリーダー層の育成

#### 改革 or 導入が必要な社会システム・概念

- 電気事業法、建築基準法、消防法
- 電気料金制度

#### 国際競争・国際協調

- 我が国産業競争力を強化する国際標準化策定のための国としての戦略
- 戦略的科学技術外交の推進

## 世界に展開する水供給システム

リーダー 京都大学 寶 馨

京都大学 立川 康人

京都大学 堀 智晴

### 1. 将来社会の姿

#### (1) 大きな鍵となる事項

水は、再生利用可能な資源であり、人間生活、各種産業、生態系の保全のために欠かせない。人口増加地域では、水の需要が増大する一方、供給が追いつかない事態が生じ、水不足、水質汚染などの問題が頻発している。人口増加がほとんど見込めない成熟した社会では、公共投資が抑えられ、将来予想される水不足に対応できない可能性もある。気候変化により、渇水の長期化・広域化、降雪の減少、大雨の増加、海面上昇などによって自然的外因が変わるとともに、人口爆発、都市化、過剰開発といった社会変動要因も大きく影響する。気候・風土・社会条件によって水問題はそれぞれ異なるが、地域の実情に応じた水供給システムの技術を世界に展開し、安全で安心して水が利用できる社会の構築に貢献する。

#### (2) 約 30 年後(2040 年頃)の将来の姿

総務省統計局によると、1950 年、2009 年、2025 年、2050 年の世界人口は、それぞれ、25 億 2900 万人、68 億 2900 万人、80 億 1200 万人、91 億 5000 万人。一方、日本の人口は、8300 万人(世界 5 位)、1 億 2700 万人(世界 10 位)、1 億 2100 万人(世界 11 位)、1 億 200 万人(世界 17 位)となる。特に、海外の人口増加は顕著であり、それに対応する水の供給を進めなければならないのは明らかである。

新興国の水需要は 30 年後においても右肩上がりであることは間違いなく、水資源開発は依然として必要である。水源としては、山岳地帯からの出水(融雪・融氷も含む)、河川表流水、湖沼、地下水、海水、そして使用済みの再生水があるが、気候、国の発展段階、経済力などによって水源をどこに求めるかが異なってくる。

2040 年の時点では当該国・地域にとって、環境負荷の少ない、かつ、廉価な水供給が行えるようになる。しかしながら、水供給のための投資や場所選定が必ずしも順調にいかず、水不足の状況は続いていることであろう。また、気候変化の影響(地球温暖化)で、山岳地帯からの清涼な出水は減少し、アララ海が現在でもそうであるように、いくつかの湖沼が縮小したり汚染したりして水源として適当でなくなる可能性がある。一部の地域では地下水への過剰依存が、帯水層・化石水の枯渇を招き、内陸部における新たな水源の確保が問題となる。

我が国にとって望ましい姿としては、我が国の水供給システムや気象・水象予測システムが、世

界各国に受け入れられ、引き続き技術革新を続けながら、さらに多くの国々から引き合いがあることである。

最悪のシナリオとしては、既に新興国に元宗主国として進出している欧米各国に後れを取るとともに、中国・韓国にも凌駕され、我が国の技術革新、グリーンビジネス、グリーンイノベーションが不発に終わることである。

### (3) 中間点である約 15 年後(2025 年頃)の姿

自動車におけるハイブリッドカーの開発、実用化がこの最近 10 年余りの間に成功したように、水処理技術や水供給システムも低炭素化、省エネルギー化を目指し、かなりの成果を上げるものと考えられる。そして、より経済的・廉価に各種用途の水を供給できる技術開発がなされる。

たとえば、海水淡水化技術の発達により、沿岸地域にこれまでよりもはるかに多数の水供給システムが設置される。一方、貯水効率のよい河川の上流においては、ダムによる水資源開発がなされる。ダムは、河川の流れを分断し環境への影響が多いとは言うものの、自然に貯留される水を、河道という自然の水路によって、重力(無料)で遙か下流まで送水できる水供給システムであるため、その存在意義が見直される。また、水力発電もクリーンエネルギーの一つでもあり、水供給、発電、治水といった多目的性も再評価される。地下水については、科学的知見が蓄積され、涵養量と消費量のバランスを考慮した地下水利用が進められる。なお、地下水汚染の問題についても研究が進み、その原因の究明と解決、水供給源としての良否が明らかになる。

水の消費は、下水を発生させる。その量がますます海外で増大するので、国際競争力を有する我が国の下水道技術等の環境技術について戦略的な国際標準化を進める。下水道網で集めた水を再生水として利用する技術も我が国のお家芸となり、また、再生水の用途によって処理レベルを変えることや、下水からの熱回収を行うことにより省エネルギー、グリーンイノベーションに繋げることができる。

再生水利用・アセットマネジメント(基盤施設資産管理)など我が国の得意分野での関連技術を用いたプロジェクトにおいて、日本企業が活躍する機会を拡大することにより、建造技術のみならず管理技術の観点からも、日本企業のさらなる海外進出、国際標準化に向かう。

理想的なシナリオとしては、このようにして、現在の技術の基盤の上に、我が国が水供給システムの世界的な展開にリーダーシップをとっていることである。

最悪の場合は、技術革新の著しい諸外国に技術的に後れを取り、企業育成・人材育成もままならず、政治的にも国際的にも他国の後塵を拝し、せつかくの高度な技術や政策的努力が実を結ばないことである。

## 2. 目標とする将来への到達の道筋

### (1) 重点的に取り組むべき研究開発課題

水供給システムを構築するためには、水源、輸送供給経路、水質処理、水道などのインフラ

ラクチャが必要であり、これらの建造技術は既に確立されていると言える。我が国の技術は一流ではあるが、これらの基礎的なそれぞれ単体の施設の建造技術は、各国に大差がないと言って良いであろう。むしろ、低炭素化を指向する、あるいはグリーンイノベーションを実現し、我が国のビジネスチャンスが広がる形で世界的に水供給システムの展開を実現する必要がある。

水供給システムとしては、いくつも代替案があるが、その主なものは、

- 1) ダム・貯水池による表流水の利用(河川や湖沼水の効率的な貯蔵と利用)
- 2) 流域間導水
- 3) 地下水の利用
- 4) 排水を処理・浄化した再生水の利用
- 5) 海水淡水化などの造水

などであって、こうした水供給システムを我が国の技術を生かして世界中に展開し、水ビジネスのチャンスを獲得して我が国の持続的な成長戦略とする。同時に、世界全体のグリーンイノベーション、地球温暖化の緩和策(ミチゲーション)、環境保全及び災害の防止・軽減といった適応策(アダプテーション)に貢献する。

そのために大事な基礎的な事柄として、以下のような事項が上げられる。

- ①地球、各大陸、各地域、各流域における地下を含む水循環の科学的把握と将来予測
- ②膜技術などの海水淡水化の工学的技術のさらなる高度化
- ③太陽光エネルギー、風力、地熱などの新(あるいは化石燃料の代替)エネルギーの利用
- ④流域内、流域間での総合的な水資源管理
- ⑤水を得るためのコストと水を利用できることによる便益の科学的評価
- ⑥高度な水供給システム開発のためのシミュレーション技術・予測技術の開発

これらのことを研究開発する組織と人が必要である。これらについて以下に説明を加える。これらはいずれも基礎的ではあるがすぐにも取り組むべき課題であり、後回しにすればするほどグリーンイノベーションの実質的な実現は遅れてしまうであろう。

#### ①地球、各大陸、各地域、各流域における地下を含む水循環の科学的把握と将来予測

気象・水文観測を充実させ、各国、各流域での地下水を含む水循環の把握が重要である。これは、気候変化・温暖化影響の気象学的・水文学的評価、地下水汚染の原因究明、地下水流動の解明をも含むものである。特に、適切な水供給システムはローカルな水循環を定量的に把握した上での設計が必要となるため、衛星観測や新たな観測技術を用いた地域レベル・流域レベルでの水循環の科学的把握と将来予測が重要な課題となる。

これにより、上記の 1) ダム・貯水池による表流水の利用、2) 流域間導水、3) 地下水の利用、4) 排水を処理した再生水の利用、5) 海水淡水化、のうちどれを用いればよいか、あるいは、どれとどれを組み合わせるのがよいか明らかになる。これは、地道な気象学、水文学の基礎研究ではあるが、現象の理解と解明といった純粋科学的観点にとどまらず、グリーンイノベーションを意識した総合水資源管理(IWRM)の視点が重要になる。また、下の(4)で述べる国際戦略の観点からも

極めて重要である。

## ②膜技術などの海水淡水化の工学的技術のさらなる高度化

海水淡水化技術としては、蒸発法、逆浸透法、電気透析法、LNG 冷熱利用法、透過気化法がある。平成 21 年度版「日本の水資源」によれば、これらのうち、もっともよく使われているのが逆浸透法で、生活用で 91.75%、工業用で 75.4%である。生活用として電気透過法が残りのほとんどを占め 8.25%、工業用では、蒸発法が 24.6%利用されている(2009 年 4 月現在)。逆浸透法がもっとも利用割合が多く、塩水と真水との間に設置する半透膜が重要な役割を果たす。こうした膜技術や、今はシェアが少ないが、液化天然ガス(LNG)基地の周辺で可能な LNG 冷熱利用法は、省エネルギーの淡水化技術なので、このような技術をさらに高度化していく必要がある。

## ③太陽光エネルギー、風力、地熱などの新(あるいは化石燃料の代替)エネルギーの利用

現在、鋭意研究開発が進められている太陽光、風力、地熱などのエネルギー開発の研究をさらに推進すべきであることは言うまでもない。新エネルギーの開発が大いに期待される。また、海外における水力発電をクリーンエネルギーとして見直すことも必要である。川の流れは、重力によって無料(あるいは極めて少ない人工エネルギー)で物質を上流から下流まで運んでくれる。また、帆船は、急流であっても風力で下流から上流にさかのぼることができる。このような舟運が有効な場合は、河川や水路に常に一定以上の水を供給する必要がある。こうした自然の営力を今一度再評価し、時間はかかるがエネルギーのかからない輸送方法を見直すことも重要である。

## ④流域内、流域間での総合的な水資源管理

上記①の水循環の把握や予測に基づいて、水資源を流域内あるいは流域間で総合的に管理することが重要である。技術的に高度ではあるがコストの高い水供給システムを導入することは、流域全体における水の需要と供給、省エネルギー・グリーンイノベーションという観点から、必ずしもいつも得策であるとは言えない。水問題はセクター間の利害対立(コンフリクト)が生じることも多いが、それを克服する形で総合的な水資源管理を行えるような政策的考察と実行が必要である。こうした優れて社会的に高度な判断を取り扱う実践的な学術研究が不足しており、是非とも推進すべき課題である。

## ⑤水を得るためのコストと水を利用できることによる便益の科学的評価

コストと便益の正当な評価方法が必要である。上記の 1) ダム・貯水池による表流水の利用、2) 流域間導水、3) 地下水の利用、4) 排水を処理した再生水の利用、5) 海水淡水化、のうちどれを用いればよいか、の経済的・政策的な指標となる。この際、将来何年間にわたって評価するのか、その間のランニングコスト、気候変動や技術革新などの不確定性も踏まえて、水供給システムの設計を拡張可能(あるいは縮小可能)にするような工夫が必要である。この種の研究開発も不十分な現状であり、推進すべきである。これは、上記①及び④を行うための基礎ともなる。

#### ⑥ 高度な水供給システム開発に向けたシミュレーション技術・予測技術の精緻化

高度な水供給システム開発を構築するためには、気候変化の予測技術とともに、その影響を評価するシミュレーション技術・予測技術を精緻化し、市町村レベルでの水供給システムの立案に資する推計情報を提供することが必須となる。このためには、気象外力のダウンスケーリング技術を精緻化するとともに、中小河川を解像するスケールでの総合的な水資源シミュレーション技術を獲得する必要がある。水資源シミュレーション技術としては、自然現象による水循環のシミュレーション技術、水とともに移動する汚染物質等の循環のシミュレーション技術、水工施設での貯水や取水による水管理等の人間による水管理のシミュレーション技術があり、これらの要素シミュレーション技術を共有化し相互に結合して高度な水循環・物質循環・水管理シミュレーションを実現する共通プラットフォームを開発する必要がある。こうした総合的な水資源シミュレーション技術を駆使して、あらゆる気候環境、水文環境での水供給システム構築に資する水資源シミュレーション技術を提供する必要がある。

#### (2) 融合・連携の必要性和融合・連携すべき分野・領域、融合の方法

水供給システムを世界に展開しようとするのであるから、水の存在、分布、移動、将来予測を行う自然科学分野(水文学、気象学、地球惑星科学)と水を利用する側の産業・社会分野、これらを繋ぐ土木工学、エネルギー科学、公共経済学、国際法学、政策学などが融合・連携を強化すべきである。その方法としては、このような融合領域を取り扱える人材を育てる大学院や研究所を設置し、そこに各分野からのエキスパートを配置して、融合を促進するとともに、実際に人材育成を行う。その際、一旦実務を経験した社会人や海外経験をもつ人材を確保し、さらに高度な国際エリートとして育てる。

#### (3) 必要とする人材と育成・確保の方策

水という物質は公共財とも言え、その地球社会的な存在意義を正しく理解し、それを公正に利用するという立場で物事を考える必要がある。上記(2)に述べたように、大学院や研究所を設置し、generalist 的視点を持った specialist(または逆に specialist 的視点を持った generalist)として、国際的なセンスと倫理観・使命感を持つ人材育成を行う。

#### (4) 目標到達に必要な国際的視点(国際協調、国際競争、世界の一員としての視点、東アジアの視点等)

水問題は地域によって異なる。降水量が多く、水資源が豊富なところもあれば、乾燥・半乾燥の砂漠地帯で、常に水が不足しているところもある。また、普段は水が豊富でも、長い少雨の期間が続く早魃に陥りやすかったり、気候変動(地球温暖化)の影響で場所によって降水量が増えるのか減るかわからなかったりという不確実性もある。

こうした観点から、複数の水供給システムをバックアップシステム(フェイル・セーフシステム)とし

て有することの重要性を国際的に認知させておく必要がある。片方のシステムがうまく機能しなくても、もう一方の機能がちゃんと稼働することによって深刻な水の危機を回避することができる。

有効な水供給システムを明らかにするためには、長期の気象・水文観測データの存在が望まれる。途上国では、経済的な困難から、それまで続けていた観測を打ち切ったり、観測点を減らしたりしているところがある。しかしながら、観測やモニタリングは、流域内の水の存在、分布や移動を科学的に明らかにするのみならず、効果的な水管理の基礎となることから、各国においてそのような基本的な事業の必要性を共通認識として持つておく必要がある。また、水需要や開発の是非を議論する上で社会経済的なデータも極めて重要である。この意味で、水文・水資源の研究者や実務家が現地の人々と共同研究や交流を深めておくことが重要である。単なる科学的研究の推進のみならず、ひいては、国際戦略として重要な視点であることを強調しておきたい。現地の観測やモニタリングは我が国の者が継続的にできることではない。現地の人材が育つような共同事業を推進すべきである。それができない場合でも、予めある程度の情報が得られるように人工衛星による地球観測や、実施されている国内、国際研究の関連成果を収集すべきである。

#### 【参考資料】

- [1] 国土交通省 土地・水資源局水資源部：平成 21 年版日本の水資源—総合水資源管理の推進一、平成 21 年 8 月。
- [2] (社)資源協会：平成 20 年度水資源・水災害危機に関する調査研究成果報告書、平成 21 年 5 月。

## グリーンイノベーションにより持続的に成長する日本

### 世界に展開する水供給システム

ダム・  
貯水池

流域間  
導水

地下水  
利用

再生水  
利用

海水淡  
水化

建造コスト、環境コスト、維持管理コスト、水供給便益と政策効果の科学的評価

水源適地・最適水供給システムの決定技術

水処理・水供給システムに関する国際標準化

人材育成  
(国内、相手国)

国際競争力  
(政治的、技術的、人的)

地下を含む水循環の科学的把握と将来予測

膜技術(海水淡水化技術)の高度化

クリーンエネルギーの利用促進・再評価・生産

総合的な水資源管理

水供給コスト、便益の科学的評価

シミュレーション技術・予測技術の開発

## グリーンICTビジネス

リーダー 日本電気株式会社 中台 慎二  
日産自動車株式会社 石川 隆志  
関西電力株式会社 木場 将雄  
パナソニック電気株式会社 天野 昌幸

ICT で消費されるエネルギーを、水道インフラによって家庭の熱重要に分配供給するインフラを実現するシナリオを描き、グリーンICTビジネスの国際展開のロードマップを描く。

### 1. 将来社会の姿

#### (1) 大きな鍵となる事項

ICT で消費されるエネルギーを、水道網で家庭の熱重要に分配供給するインフラの実現

#### (2) 約 30 年後(2040 年頃)の将来の姿

##### 【主婦】

ある冬の寒い朝、東京に住む主婦A(40才)は起床とともに、足早に洗面所に向かった。洗面所に立つと、ふと中学生の頃を思い出した。当時、水道水は凍てつくように冷たく、すぐには顔を洗えずにいたものだ。ガス給湯器で水が温まるまで待っていると、母親からよく「もったいない」と注意された。そんな母親は、冷たい水のまま平気な顔をして炊事をしていった。彼女も、もったいない気持ちは分かるが、彼女自身にそんな我慢は考えられなかった。

しかし、今では「もったいないけど」という罪の意識を感じることなく、温かな水で顔を洗い、皿を洗い、朝食の準備をすることができる。お風呂が沸くのも早くなった。何故なら、いつからか水道水自体が温かくなったからだ。どこかで発生した排熱を再利用しているらしい。詳しくは知らないが、コンピュータの排熱を利用しているとのことである。コンピュータと聞いて彼女が今、頭に思い描いた“姿形”は、彼女が大学生の頃のまま。入学時に、おしゃれな形が気に入って買い、しばらく机の下で頑張っていたのだが、苦手な配線が面倒になって捨ててしまった。とは言え、コンピュータの「箱」は無くなったものの、その後もパソコンは使い続けている。パソコンサービス<sup>1</sup>に乗り換え、愛用のキーボードとリビングのテレビを使って、どこか遠いコンピュータをパソコンとして利用している。「もしかしたら、この水道水の温もりは、昨日私が使ったパソコンサービスの分の熱かもね」と考えな



図 1

<sup>1</sup> 家庭向けパソコンもシンククライアント化される想定

がらタオルで顔を拭き、朝食の支度をしに台所へと向かった。

#### 【データセンタの管理者】

東京の多摩地区にある浄水場には、いくつかのデータセンタが隣接している。その中の一つで保守管理者として働き始めたB(23才)は、先輩のC(55才)のふとした一言が気になって、質問をした。「先ほど、『昔のデータセンタでは、空気の流れが読めないと、サーバが落ちたものだ』と仰いましたが、どういう意味ですか？」

その先輩は、今は気にしなくて良いよと、笑って答えながら、サーバが落ちるという言葉に反応した若手に説明を始めた。「昔は、サーバは空気中で冷やしていたんだ。各サーバには必ずファンが付いていて、サーバの中に溜まる熱い空気をラックに出して、その空気を今度はラック<sup>2</sup>の中に溜まらないようにフロアに出して、さらにフロアに熱い空気が溜まらないように外に出していた。だから、流れが悪いと、熱だまりができて、サーバが落ちたんだ。しかも、その空調のためにIT機器より多くの電力をつかうこともあったんだよ。だけど、もう水冷の時代だから、その辺は気にしなくて大丈夫だよ。」

これを聞いて安心しつつも、熱を運ぶためにIT機器と同程度の電力が必要だったと言う点には驚いた。「確かに、今もフロアとラック、各サーバを冷却水が循環していますし、水冷であってもやはり熱を運ぶエネルギーは必要ですね。」そうだねえ、と相槌を打ちつつも、昔を思い出しながら呟いた「だけど、この場所に移ってからだよ、今ぐらいに冷却電力が減ったのは」という言葉に、新人は戸惑った顔に。「ああ、ごめん。この場所だと、隣の浄水場の冷たい水で循環系の冷却水を一気に冷やせるから、電力があまりかからないんだ。以前は、温まった冷却水を冷やすための冷熱源が確保しにくかったのだから、循環系の温度差が取れなかったんだ。」温度差が、コンピュータに入れる冷水と出てくる温水の差であることを確認した上で、さらに続け、「ある熱量を逃がすには、冷却水の温度差と流量が必要なんだけど、昔は、小さい温度差しか得られなかったのだから、流量を大きくする必要があったんだ。だから、循環ポンプの電力にお金がかかっていたんだよ。」と説明を続けた。納得顔の新人は「上水網を利用して熱を配ることで、排出権を得ているって話を聞いていたんですが、冷却コストも減っていたんですね。」そう、まさに一石二鳥だね、とその先輩も応じ、次のフロアへと向かった。



図 2

#### 【浄水場の管理者】

東京の浄水場に勤務しているD(38才)は、この日も国内メーカ数社の担当者とともに、欧州大手の水企業の会議室にいた。水道管メーカをはじめ、データセンタ向け熱交換器メーカ、熱量計測器メーカ、データセンタ事業者などと共に、日本で培った上水加温のノウハウを生かして、老朽化

---

<sup>2</sup> サーバを収容する棚

した水道網の刷新計画の挙がった都市について議論していた。早くに民営化の進んだ欧州では水道管の漏水率の高さが問題<sup>3</sup>となっており、老朽化した水道管を刷新するタイミングで、水質の高さや漏水率の低さで知られる日本の技術を取り入れることが多くなっている。とは言え、売りは水質や漏水率だけではない。日本の上水設備は、浄水場に与えられた排熱を冬場に効率的に家庭に届けたり、逆に夏場は地中にうまく逃がしたりすることができる。

この排熱による上水加温の運用ノウハウを、浄水場に勤務するDはコンサルティングしている。市街地と浄水場の距離や、土地の高低差によって決まる水

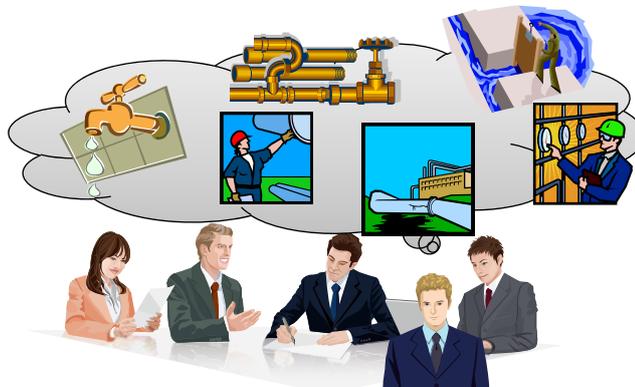


図 3

圧、それらによって決まる水道管中の水の滞在時間、途中の貯水池の分布やデータセンタなどの排熱源の分布に応じて、複数の水道管の径や伝導率を組合せる。欧州では飲料目的の水が少ないため、水温は高めに設定することが多いが、これも地域のニーズと合わせる必要がある。北部ほど水道管凍結しないための設定をする。この他にも、データセンタ事業者への排出権の設定基準や、温度に応じて必要となる塩素量の制御方法など、多岐に渡る経験とノウハウが必要となる。欧州進出して10年以上経っているが、日本で培われた経験やシミュレーションは未だに日本に優位性がある。

### (3) 約 15 年後(2025 年頃)の将来の姿

#### 【水道網の工事担当者】

東京の水道管工事会社に勤務する E(31 才)は、老朽化を迎えた東京の水道網の取り換え工事をこの5年担当している。この地域に敷設する水道管は浄水場から近いため、地熱を上水に取り込みやすい設計となっているらしい。ちょうど井戸水と同じように「夏は冷たく、冬は暖かい」水になる。彼の父の実家には井戸水があり、父はよく「井戸水はうまいぞ」と言っていた。

しかし、以前に敷設を終えた下流域では、保温性に優れた水道管であった。中流域にある配水場でデータセンタの排熱を取りこんでいるため、下流では保温性を高くするとのことである。この他にも、地域によっては熱伝導率を変更できる水道管も敷設され始め、季節に応じて適切なコントロールがされるらしい。いずれも昔の朽ち果てた水道管よりも耐震性も優れており、さらに光ファイバも共に埋設されて漏水箇所や歪みを即座に検知できるため、漏水で水圧が下がることもない。



図 4

<sup>3</sup> 民営化か公営化か、あるいは水道に対する考え方の違いなどはここで深く触れない

### 【半導体開発担当者】

半導体メーカーで働く F(39 才)は、以前はパワー半導体の開発に従事していたが、現在は、米国の I 社と共同でのプロセッサ向けの半導体の開発を行っている。主に、パワー半導体の周辺材料の耐熱化に携わっていたが、彼の会社が半導体チップ内冷却技術の研究開発を進め、実用化技術を確立したことで、花形のプロセッサ向けの半導体も高温動作させ、そのための耐熱化技術が必要となってきた。チップ内水冷となったことで高熱部はチップ内に閉じるが、それでも高温化対策が周辺材料にも必要になっている。



図 5

この次期発売のプロセッサは、データセンタ向けのプロセッサであるとともに、排熱を家庭で有効活用するらしい。言ってみれば、家庭向けのやかんを設計しているのか、などと考えながら、設計を続けた。

## 2. 目標とする将来への到達の道筋

### (1)重点的に取り組むべき研究開発課題

#### ー 継続して重点化すべき課題

現在、産学官の間で研究開発されている以下の研究開発は、継続的に重点化が必要な研究課題であり続ける。

- ① ICTを用いた社会の省エネ(いわゆるGreen by IT)
- ② ICT自体の省エネ(同Green of IT)

#### ー 新たに重点化すべき課題

その一方で、「ICT におけるエネルギー消費」を別の視点から捉えるところから、新たな技術領域の枠組み捉えなおし、ICTと異なる領域に属すると考えられている社会インフラとの新領域を模索する事もまた重要な課題であろう。本シナリオでは、その例として、社会全体のエネルギー消費増加を食い止めるという視点から、水インフラと ICT の関わりに注目し、新たな技術的な枠組みを模索し、新たな重点化すべき課題を提示する。

ICT 機器での消費エネルギーは増加の一途を辿り問題となっているが、その物理的な側面は、電気エネルギーが熱エネルギーに変化している解釈できる。

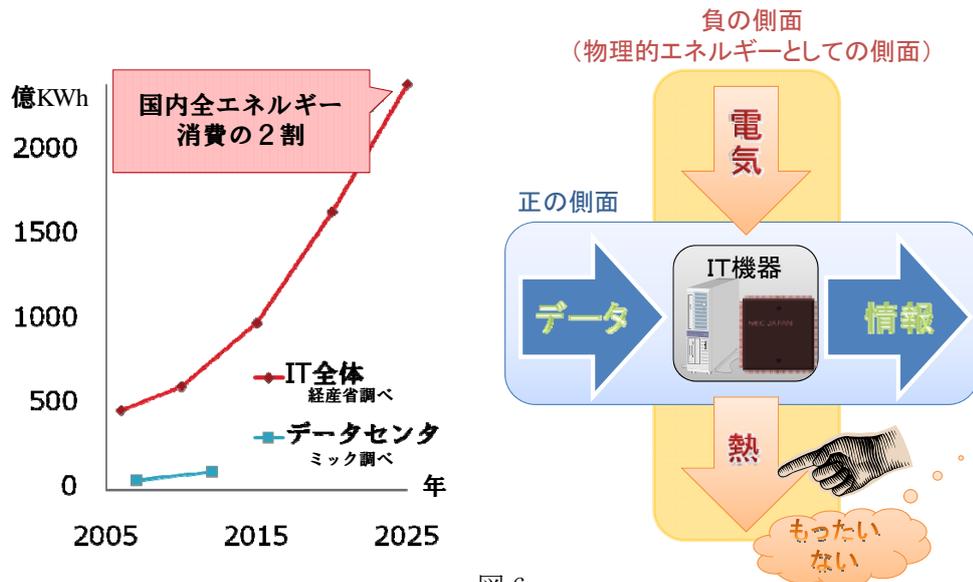


図 6

一方、日本全体の熱エネルギー消費に視点を移すと、京都議定書などの国際的な責務にも関わらず、2005年度は90年比で15%増加している。主因は、全体の3割を占める民生部門の38%の増加にある。さらに、その民生部門(=家庭部門+業務部門)のエネルギー消費割合に注目すると家庭部門の6割、業務部門の4割は、熱に関連したエネルギー消費である。

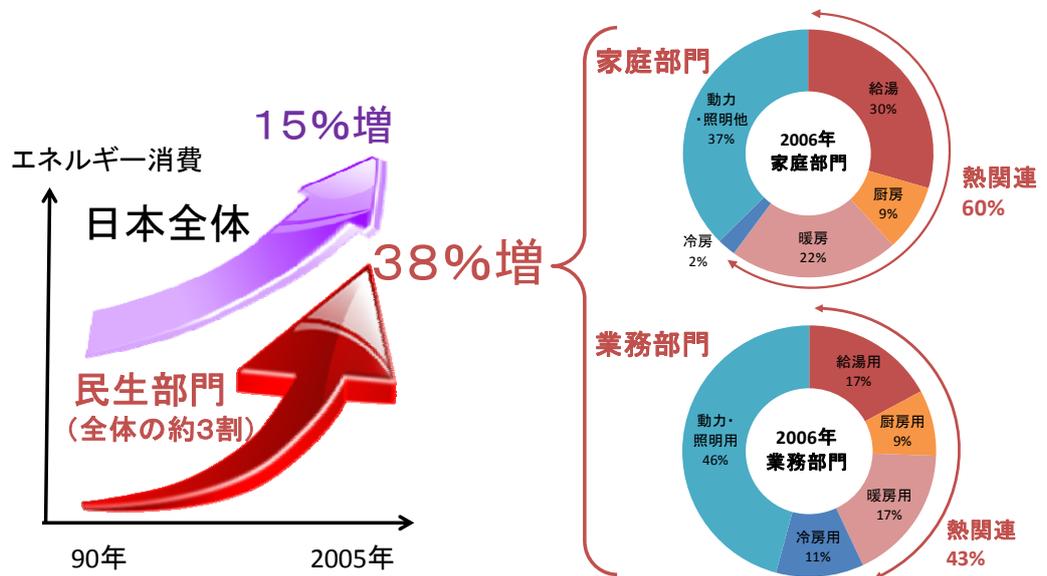


図 7

そこで、今後増加するICT機器で発生する熱エネルギーで、民生部門の熱需要の一部を賄えないか、という枠組みが期待される。

負の側面  
(物理的エネルギーとしての側面)



図 8

しかしながらここで、熱搬送が大きな問題となる。すなわち、熱はその拡散性から熱供給者と熱需要家との距離によって、効率が極端に低下する。この枠組みを実現するには、分散するコンピュータのユーザ(熱供給者)と、分散する家庭(熱需要家)を効率的に結び付けるインフラが必要となる。

そこで、2つの既存ネットワークを有効利用することから、この枠組みの実現を検討する。すなわち、ICTのネットワークと水道のネットワークを用い、それぞれの集中的な拠点であるデータセンタと浄水場を隣接配置することで、熱搬送を効率的に行える可能性がある。

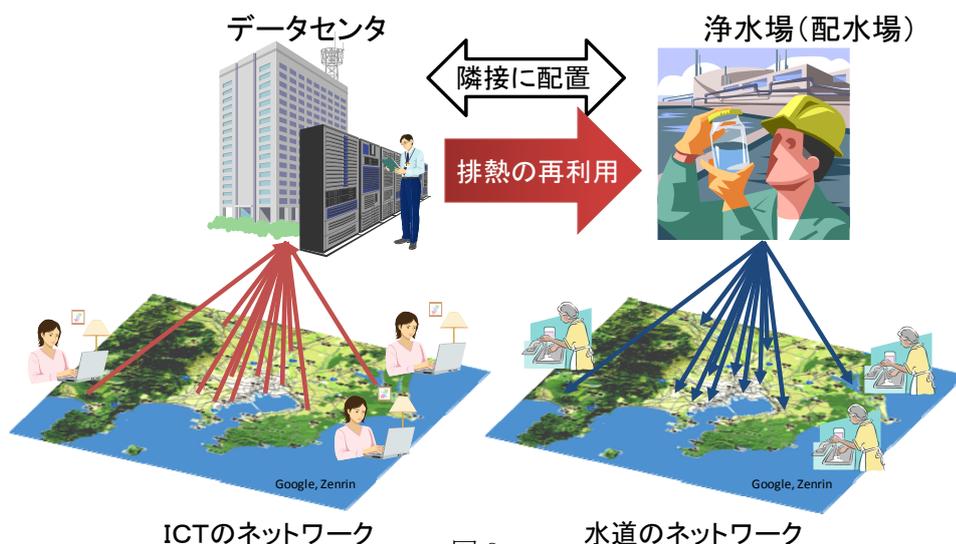
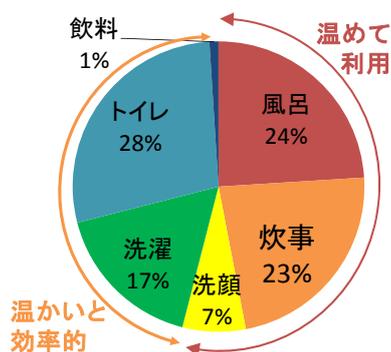


図 9

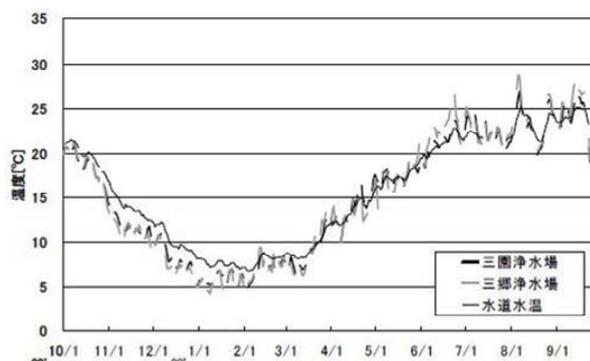
ここで浄水場に排熱を供給し、水道管を流れる水道水自体を温めてしまうこと(上水加温)には、いくつかの懸念点がある。一つは、水道水を温めても無駄に捨てられるのではという懸念である。しかし、家庭で使われる水のおよそ半分は温めて利用されており、ま

た夏場の飲料を除き、ほとんどの用途で温水の方が良い。また別の懸念点として、浄水場で温めても地中に熱が逃げるとはではないか、という懸念点があるが、実データによると浄水場の取水口の温度と各家庭の蛇口の水温はほぼ同じであり、熱エネルギーが無駄に捨てることにはならない。

この枠組みには他にも様々な問題を孕んでいるが、地球温暖化という大きな問題に対して、それらの問題は科学技術の重点化で解決され得る程度の問題であると筆者らは考え、この枠組みを効率的に実現するための基礎技術について触れる。



水道水の用途(国土省「日本の水資源」)



浄水場取水口の水温と、水道水の水温の年間の変化

井出ら、「水道水温の簡易予測法に関する研究」より抜粋

図 10

## (2) 重点的に取り組むべき基礎研究課題

### 一 目標を明確にして進める課題

#### [水道インフラ] 地熱利用とIT排熱利用の地理的配置の最適性

増加する民生部門のエネルギーの大半を占める熱需要を減らす手段として上水加温を考えると、IT 排熱に限らず地熱も有効活用すべきである。しかしながら、以下の考察に例示されるように、水道網における浄水場や配水場、水道管の熱伝導率や径、浄水場からの距離などによって、地熱利用とIT排熱利用を水道網上にどう配置すれば最適となるかを課題として設定し、土木技術、熱力学、ネットワーク工学などの領域横断的に定量的に解決する必要がある。以下では、課題の概要を示すために、地熱利用のみの場合、IT 排熱利用のみの場合について示した後に、複合利用した配置を、季節毎・目的毎に例示する。なお、この課題は、来るべき、老朽化が進む水道管のリプレース時期を見据えて中長期的に検討する課題である。

地熱は 5m 程度の地下であれば年間を通して約 15°Cと一定である。地熱との熱交換(夏は放熱、冬は吸熱)が行われやすい水道管を利用すると、井戸水と同様、年間を通して同じ温度となり、飲料に適した温度となる(図 11 左図)。しかしながら、本シナリオでは用途の 1%でしかない飲料用に適した温度に設定するよりも、家庭でのエネルギー削減のために、炊事や風呂といった用途に適した温度に設定することを目的としている。

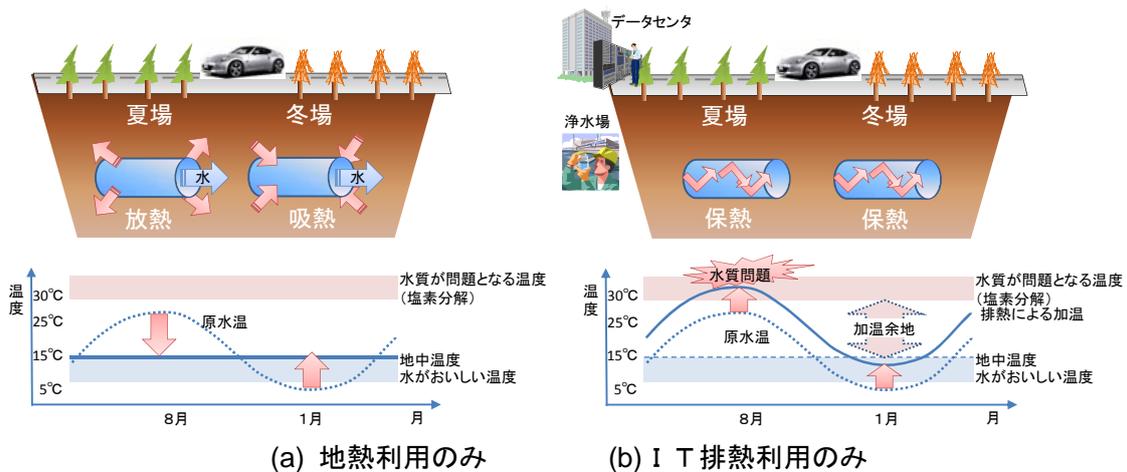


図 11

一方、IT排熱の利用、すなわち、浄水場の水を排熱で加温することを考えるが、熱交換されやすい水道管を用いると熱が逃げてしまう<sup>4</sup>。そこで、熱交換されにくく保温性に優れた水道管を利用すべきと考えるが(図 11 右図)、別の問題として、夏場の水質問題<sup>5</sup>と冬場の加温余地<sup>6</sup>が挙がる。

そこで、浄水場から家庭までの物理的な距離に応じて、水道管の熱交換の程度を変化させることが考えられる。例えば、浄水場からある程度の距離にある配水場までは熱交換しやすい管を用い、それ以降は熱交換しにくい管を用いるとする。排熱の供給は、その配水場で行うとすると(図 12 左図)、年間を通して、データセンタは地熱の温度と同一の温度の水を冷却水として用いることができ、家庭には 25°C 程度の加温用途に適した温度が供給され得る。ただし、水道管と地熱との熱交換は、水道管の径が大きい程、少ない傾向にある。水流の体積に対して、地中と接する表面積が小さいからである。浄水場から扇状に配水される水道網の上流ほど水量が大きく、径の大きな水道管が利用されるため、ここで求められる水道管の特性とは異なるという課題もある。

なお、データセンタの冷却効率を重視すると、冬場に、低温のままの水道水を冷却水とする形態(図 12 右図)、飲料用水としての適温を重視すると、夏場に家庭に届く水道水の温度を地熱温度に近づける形態(図 13 右図)もありうる。

<sup>4</sup> 逃げてはしまうものの、温度差を取れるため、データセンタの冷却効率は高まる。

<sup>5</sup> 塩素の分解が早く進むため、塩素量を増やす必要が出てくる。

<sup>6</sup> 地熱を有効利用することで、より加温出来る可能性がある。

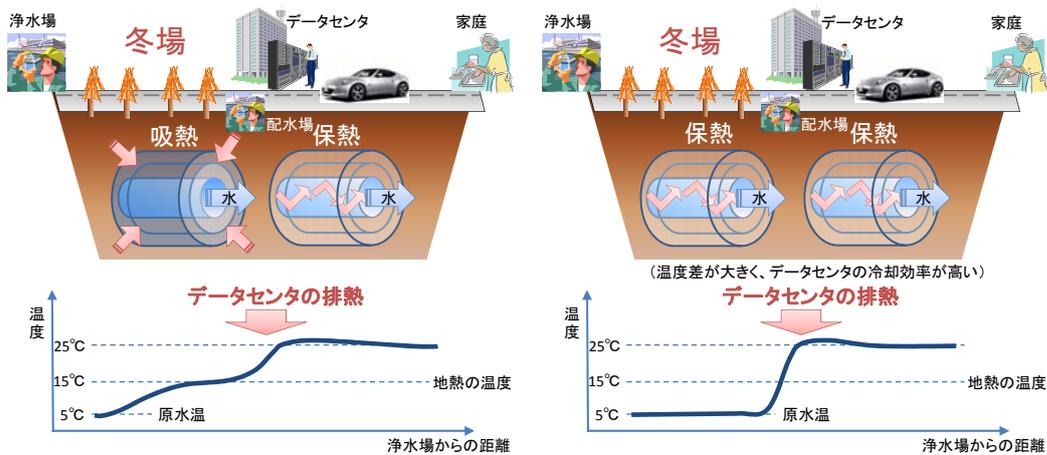


図 12

ここで定性的に触れた内容について、そのコストも踏まえた実現性や既存の水道網の事情も踏まえ、体系的な設計に関することが研究課題として挙げられる。

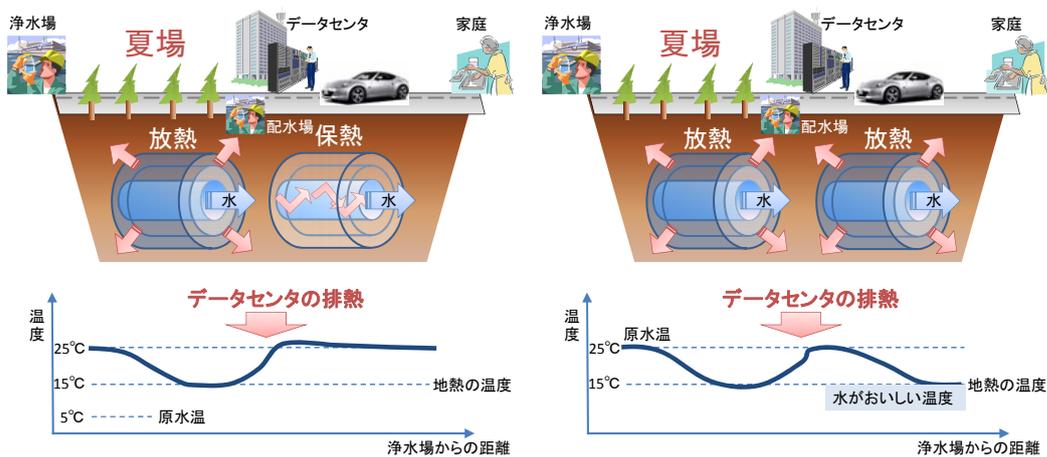


図 13

#### [水道インフラ] 水道管の熱伝導率の可変性

前節の課題提示にて、熱交換の程度の異なる水道管の配置や、排熱源の配置について述べたが、水道管の熱伝導率を可変にすることができれば、その設計の自由度は高まる。前述の通り、水道管と地熱との熱交換の程度は、水道管の径が大きく影響するが、水道管の材質も大きく影響する。そこで多層構造をもつ水道管の外層を、断熱性の高い空気で満たしたり、熱伝導性の高い溶媒で満たしたりすることで、水道管自体の熱伝導率を可変とすることができ、これを浄水場などから季節に応じた制御ができるとすれば、熱搬送網としての水道網を構築可能であると考えられる。

#### [水道インフラ] 外部の排熱提供者と水道水を熱交換することの安全性

水道水の管理においては、水道水の品質や安全性が第一である。熱交換では、直接、水道水と冷却水溶媒とを混合することはあり得なく、原理的には温度のみが変化するのみであるが、万一の場合も、水道管に異物が混入しないような保障が必要である。これらも本シナリオを実現するた

めの研究課題として避けられない。

#### [ICT]CPU 直接水冷化による高温動作化、および耐高温性

水冷を前提とし、さらにその排熱を利用するとすると、CPUのチップ自体の水冷技術などの研究開発が必要となる<sup>7</sup>。現状の半導体チップでは、半導体チップから熱伝導率の高いヒートシンクに熱を移動させ、これを外気あるいはサーバ筐体内の水冷システムにて冷却している。放熱の効率を示す熱抵抗(単位時間発熱量あたりの温度上昇量で測られる)は、ヒートシンクの構造等が大きく影響するが、これらの研究ではチップ内に冷媒を通す構造をしており、格段に効率的(熱抵抗が低い)なCPU設計である。

この50年のCPUの高速化は、ほぼ集積化によるものであり、回路を小さくすることで高速化してきた。しかしながら、集積化は発熱の問題を抱えており、単位面積あたりの発熱量が現在のCPUの性能を律速している大きな要因の一つとなっている。このCPUチップ内の冷却化はこの面からも期待が大きい。

それと共に、排熱利用という観点からすると、排熱の高温化というメリットがある。現代の技術では、低温排熱の資源としての価値は低く、本シナリオのように水道水を加温する程度の用途しかない。より高温であれば、地域冷暖房にも供給可能であろう。現在のICTの排熱の温度が低いのは、周囲温度が日常生活可能な10~30℃の高い空冷システムの中での利用を想定しており、温度差が取れていないという面が大きいと考える。仮に、半導体を高温動作させると、冷却能力が足りなく熱暴走(温度が高いほど、発熱量が増え、さらに温度があがる)を起こし、半導体自身や周辺の部品を破壊してしまう。しかしながら、チップ内の水冷が実現できれば、水冷システムの放熱能力で直接半導体を冷却できるため、より高温動作させることができる。水冷システムの放熱能力と均衡する発熱量を出すような高温で動作できる。同じ熱量でも高温であるほど利用価値が高いだけでなく、冷媒の水量が減るため、データセンタ内の冷却システムのポンプ動力が減るという効果もある。

#### [ICT]データセンタ水冷システムの効率性

現在のグリーンICTの冷却装置関連の研究開発は、抜熱や、熱だまりの解消など、空冷を前提とした効率化を行っているが、水冷システムを前提とした効率化の取り組みには、さほど活発ではなく、欧米勢に遅れている感がある。

##### 一 新たに取り組むべき課題

##### 水インフラに排熱を供給可能なICT以外の排熱源模索

今回、排熱源としてデータセンタを想定したが、多くの低温排熱は有効利用されずに、捨てられている。データセンタが排熱源として有望であるのは、①地理的な制約が少ない、②異物混入のリスクが少ない、③低温の冷却水を利用可能なため排熱供給側にもメリットがある、などの利点が挙

---

<sup>7</sup>現在、IBM チューリッヒ研が研究開発を始めているが、筆者らの知る限り、国内での活動はない。

げられる。しかしながら、工場やごみ焼却場なども、何らかの手段によって有効な排熱供給源となる可能性もあり得る。これらは探索的に、領域横断的に模索する課題である。

### (3)融合・連携の必要性(融合・連携すべき分野・領域、システム化等)

#### ー 全体の枠組みの構築

本シナリオは、これまで連携の少ない技術領域が相互に関わるため、データセンタ事業者、水道局、水道管メーカ、熱交換機メーカ、土木、水質管理、半導体メーカなど産官学の領域で連携して全体の枠組みを構築し、課題や解決策を共有する必要がある。

#### ー 個別要素間の連携

前節で述べた研究課題については、特に関係する領域間で深く連携する必要がある。例えば、半導体と冷却装置とはこれまでは別途研究開発が行われていたが、今後は密な連携が必要である。

### (4)改革や導入が必要な社会システム・制度・マネジメント等

#### ー 水道事業における責任境界線

現在の日本の水道事業を運営する水道局は、安全第一を徹底するために、浄水場の取水口から取った水は、需要家の蛇口に至るまで、決して他の事業関与にさせない。熱交換の過程では、原則温度のみの変化であり異物混入のリスクは少ないが、これを実証実験等で万が一にも混入しない技術水準を達成できた場合、水道局の運営上、責任境界線を緩和し、特定の指定した装置と運営方法で上水管と接する事業者を許可するよう変える必要がある。

#### ー CDM(クリーン開発メカニズム)のための専門機関

本シナリオでは、データセンタが広く分散する家庭に、排熱を予熱という形で供給することによって、削減が難しいとされてきた民生部門の CO<sub>2</sub> 削減を行っている。そのため、この努力に対して排出権を付与することが、本シナリオの枠組みの普及促進となりうる。そこで、熱供給量や CO<sub>2</sub> 削減効果の測定を行い、排出権付与の許諾権限を持つ専門機関が必要である。その他、運用上の基準、装置の基準などもこの専門機関で策定・管理する必要がある。

### (5)科学技術政策と他の政策との関連(政策連携等)

#### ー 水資源政策と温暖化防止政策

本シナリオでは、水道に、水道の第一の目的である「安全な水の提供」に加えて、「熱エネルギーの提供」の役割も持たせることを想定している。しかし、第一の目的のみの達成に固執し、それを脅かす全ての可能性を排除しては、温暖化対策のための「熱エネルギーの提供」という役割を水道に持たせることはできない。そこで政策として、前者の目的としての側面で管轄する厚生労働省と、我が国の温暖化対策を担う環境省や経済産業省資源エネルギー庁との間での政策レベルでの協

調が必要となろう。

－ 中長期の水道網整備政策

さらに、中長期の視点として、老朽化していった水道網の再構築計画も視野に入れて計画を立てる必要があるため、国土交通省や各自治体の中長期計画との整合性も図る必要がある。現在、国土交通省は浄水場を上流へ移設する計画を立てている。これは、上流域に造成された住宅地にポンプで水を押し上げているエネルギーを、上流に移設することで削減する計画である。この他、現在、老朽化した水道管の交換時には、耐震対策が施された管が利用されるようである。本シナリオを実現するには、このような中長期のロードマップ上に含める必要がある。

－ 普及ロードマップに適合した科学技術政策

また、前記の政策・計画のロードマップにうまく適合するように、技術を基礎レベル・応用レベルで確立する必要がある、そのための科学技術政策が必要となる。

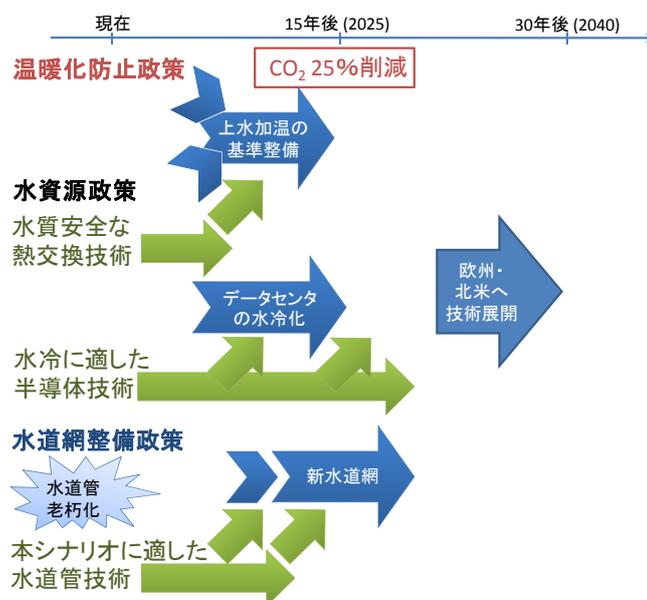


図 14

まずは、排熱による上水加温自体の妥当性を検証するために、熱交換における安全性技術を確立する必要がある。また、老朽化した水道網を各地で改修する時期までに、このシナリオに適した水道管技術を確立する必要がある。さらに、この枠組みはデータセンターの水冷化が必須であるため、効率的な水冷化技術、特に基礎技術からの確立が必要な水冷化半導体の研究開発を促進する必要がある。

(6)産業・ビジネス・雇用の創出、科学技術と社会目標とのギャップ・橋渡し

－ 産業の活性化効果

本シナリオは新たな産業を生み出す効果は少ないが、既存の産業を活性化する効果はある。す

なわち、ICT 産業に比べて産業の新陳代謝の少ない土木・水道といったインフラ事業に新たな技術要素が加えられることで、新たな製品ができ、工法が必要となる。対応力のある変化に適応可能な企業が残し、対応力のない事業者は淘汰される。他国に先駆けて国内でそうした競争が進むことが、他国への展開時には、産業としての日本の競争力となる。

#### ー 科学技術と社会目標とのギャップ

本シナリオでは、ICT だけに閉じた省エネや、既存の水供給の枠組みでの安全性ではなく、ICT 排熱の有効利用としての上水網の構築を社会目標として掲げる。しかし、ICT や水インフラの各領域で既存に行われている研究開発の方向性とは異なるため、それが慣性となって研究開発が進まない恐れがある。特に、既存の枠組みでは逆効果とされることを前提にする場合に、特にその恐れがある。

### (7)人々の価値観やライフスタイルの変化、社会受容等

#### ー 人々が水道水に求める品質の変化

本シナリオの検討を進める前提として調査しなければならないのは、「一般家庭の消費者が水に対して何を求めているか」である。これは、提供側の思い込みで設定するのではなく、ヒアリング調査や実際の用途の調査を通してこの前提を設定しなければならない。蛇口から出た直後に水の温度が、水がおいしいと感じる温度(10～15℃)でないことがどれほど問題か。そもそも飲み物はペットボトルであることが多くなり、水道水を飲むにも、夏は冷蔵庫で冷やし、冬はポットでお湯にして飲むことが多い。

多くの消費者は、水道水に対して『『おいしさ』という品質』ではなく、風呂の水として、洗顔用の水として、炊事用の水としての品質を求めていると考え、「温度」が重要な品質の指標となる。「温もり」という価値だけでなく、「ガス・電力費がうく」「風呂が早く沸く」といった価値もある。もちろん、「地球にやさしい生活をしている」という満足感も得られる。

#### ー 水道事業として供給する水の品質・水資源に対する認識の変化

前項の価値の変化をふまえ、提供者側の水道事業者はこれに対応しなければならない。2000 年前のローマ時代より水道網は生活のライフラインであり続けているが、消費者側からすると、この数十年で飲料水としての代替手段は多く存在するようになった。一方で、風呂用水としての代替手段はない。

また、「加温すべき水道水」という前提に立つと、水道事業者は「温度差」という水資源を有していると認識できる。冷却過程で排熱を出力する事業者(データセンタ等で、ごみ焼却場はこれに当てはまらない)から排熱を得て、膨大な低温の水を加温して消費者に提供する本シナリオの場合、水道事業者は排熱事業者から排熱を提供してもらい、というより、水道事業者が排熱供給側に冷熱を提供していると考えの方が適切である。通常、冷却目的で冷媒を加温すると、それを循環系内で再度冷却する必要がある。しかし、ここでは膨大な低温の冷媒を加温して、これを冷却する必要は

ない(ただし、データセンタ内の循環系と水道水自体とは別溶媒で熱交換器経由での冷却するため、厳密にはデータセンタの循環系内では水道水を用いて冷却し、二次冷却系としての水道水が、冷却の必要がない、と言える)。特に、温度差が大きいほどデータセンタ内部での水流量が減らせるため、ポンプ動力を減らすことができる。

#### (8)国際的視点(国際協調、国際競争、世界の一員としての視点、東アジアの視点等)

##### ー 先進国としての国際社会・次世代への責務

京都議定書の議長国・批准国としての責務のみならず、そもそも産業化の恩恵を受けた先進国として、温暖化を防ぎ、持続可能な社会を構築する責務が国際社会や次世代に対してある。そのために現状の社会インフラに対する考え方に固執してはならない。

##### ー 新たな ICT・水道インフラの国際展開

現状の社会インフラの考え方と異なるため、一度それを乗り越え、独自の枠組みを構築すれば、その技術体系や産業は国際的な優位性を生む。本シナリオで述べた水道運営、水道管、熱交換、データセンタ、半導体など、この枠組みを前提とすることではじめて必要となる機能や性能、品質を国内で蓄え、この独自の体系を他国に展開することで国際競争力のある事業展開が期待される。

#### 【参考資料】

- [1] 天野昌幸、木場将雄、石川隆志、中台慎二、“Think Heat!”、日産LPIE プロジェクト提案書、[http://www.nissan-lpie.org/output/pdf/project2008\\_01.pdf](http://www.nissan-lpie.org/output/pdf/project2008_01.pdf)
- [2] 馬場彰、水野稔、野田博和、“上水加温による地域熱供給と太陽熱給湯の最適システムに関する研究”、空気調和・衛生工学会学術講演会講演論文集、2000.9
- [3] 久保田信治、“期待される都市熱源ネットワークの構築”、NRI Research NEWS, 1999.8
- [4] 井出裕一、岩本静男、坂本恭助、鎌田元康、“水道水温の簡易予測法に関する研究”、空気調和・衛生工学会大会学術講演論文集、2004.9

※ 本シナリオは、日産 LPIE(Leadership Program for Innovative Engineers)プログラムを通して議論した内容に基づき、執筆したものである。詳細な検討は同プログラムへの提出論文を参照されたい[1]。

※ 本シナリオは、同プログラムのスーパーバイザやメンバーなどの多くのコメントにも基づいている。記して感謝したい。

※ 本シナリオに示される意見は、著者グループの見解であり所属企業の見解ではない。

※ 本シナリオに記載された内容の当確について、その責任は負わない。

# グリーンイノベーションにより持続的に成長する日本

水とICTを軸とする環境技術で世界に貢献し、経済面だけでなく、尊敬される国としての日本

**産業** 今後増大するICT機器由来の熱エネルギーを、水道インフラで需要家に分配するインフラ・企業間連携の構築

**技術**

水道  
インフラ

ICT

継続重点課題  
・安心安全

新規重点課題  
・排熱利用上水加温の枠組み構築

継続重点課題  
・Green of IT  
・Green by IT

新規重点課題  
・水道管熱伝導率の可変性  
・排熱との熱交換時の安全性

新規重点課題  
・CPUチップ内水冷と高温動作  
・水冷データセンタの効率化

**社会通念** 水道水に排熱を流すことは不衛生、という不安の払拭

**法令** GDM (グリーン開発メカニズム) などによる導入促進

## 農林水産業の総合産業化

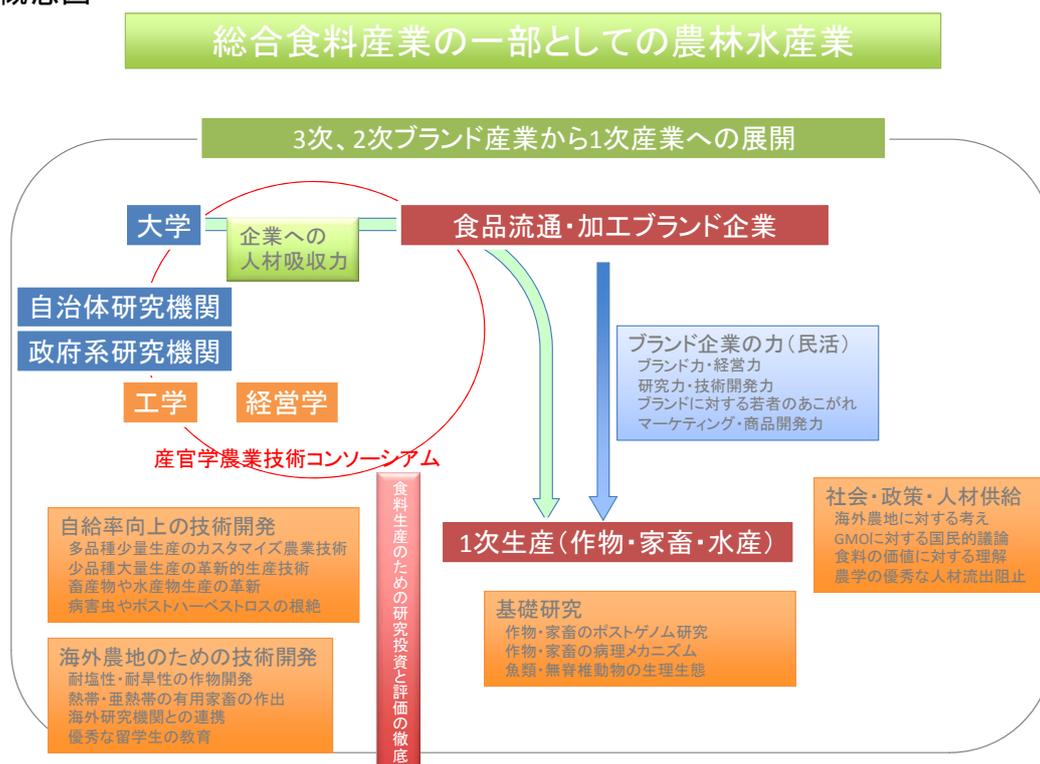
リーダー 名古屋大学 前多 敬一郎  
 名古屋大学 浅沼 修一  
 名古屋大学 川北 一人  
 名古屋大学 山内 章

### 1. 将来社会の姿

#### (1) 大きな鍵となる事項

総合的な産業の一部として成立する農林水産業  
 ブランド力のある三次、二次産業からの一次産業への展開

#### 概念図



#### (2) 約30年後(2040年頃)の将来の姿(第二次、三次産業が経営する一次産業の未来の姿)

##### ① 少品種大量生産作物と多品種少量生産作物の2つの流れ

30年後には、ブランド力を持った大手食品会社や大手スーパーの企業が中心となり、政府の資金を得た研究開発コンソーシアムにより革新的な技術開発が進んでいる。これら企業が経営する半自動化したロボットによる圃場の作業で、小麦、トウモロコシ、大豆といった欠くことのできない穀

物の大量生産が進行し、原料を直接提供する。病気や害虫の管理は徹底され、最新鋭の農薬により、最小限の散布で最大の効果が出るように管理され、現在60%ともいわれている病害虫によるロスが10%程度になり、また最新鋭の収穫機械により、ポストハーベストロスも低く抑えられている。温室はコンピュータ制御により、徹底的に管理されており、人間が物理的な労働力を提供することはほとんどなく、現在の半導体産業に似た産業となる。飲料製造会社のつくるトマトや果物は遺伝的改良が進み、実のなる位置さえ決定されており、ロボット化に適した品種が完成している。一方、都会のいたるところの空きスペースには食品会社やスーパーの経営する植物工場が置かれ、日々出荷されている。また、各家庭のベランダや小さな庭、あるいはビルの屋上といったスペースには、マイクロファームが出現し、契約している近くの大規模スーパーに商品を供給している。これら植物工場やマイクロファームには、その栽培形態に適した品種と簡便な栽培技術が提供されている。

すでにある食品流通業や食品加工業などの三次あるいは二次産業を生業とする企業が一次産業を目指す場合、これまでは少品種大量生産が前提となってきた。これは米国や豪州、ブラジルなどの例をとれば明らかであり、また中国をはじめとする国々での日本企業の進出をみてもほぼモノカルチャーを前提とする場合が多い。日本国内で自給されるべき穀物については、粉用、飼料用を含め、現在イネを中心とした開発が盛んに行われているが、やはり小麦やトウモロコシに対する需要は大きく、これらの品種改良あるいは栽培技術の開発を推進し、モノカルチャーにより生産しているであろう。このように日本で推進すべき穀物、たとえば小麦、トウモロコシ、大豆などについてはモノカルチャーを中心とした生産が中心となり、これに必要な技術開発を推し進めるべきである。また大豆についても、現在の自給率が大幅に増加しているであろう。

これに対し、工業製品では多品種少量生産の流れが主流となりつつあるが、一次生産においても、商品価値の高い園芸作物や花卉などは、消費者ニーズのマーケティングに基づいた多品種少量生産が基本となるであろう。そのため、消費者ニーズに基づいたカスタマイズ農業、たとえば一つの弁当を作るのに必要な野菜を一つの畑で生産するといった、「すき間的な農業」が出現している。

## ②動物性タンパクの生産

都会には乳業会社や飲料会社の経営する酪農が隣接するが、においはなく、糞尿はバイオガスにより電力となる。養豚は現在でも伝染病予防のため隔離され、徹底した管理をされているが、30年後には食品企業を中心とした研究開発がもたらした遺伝的改良や管理技術により、発情や受精、妊娠、分娩に至るまで同期化され、極度に省力化された畜舎の中で飼われており、食肉処理や加工に至るまで隣接した工場の中で処理される。肉牛や養鶏についても養豚とほぼ同様の体制がとられ、養豚では人工授精技術が開発され、100%の養豚業に普及している。飼料は50%が国内産の穀物により供給される。飼料イネはある一定の割合で供給されるが、主力は日本で生産される国内産の改良型トウモロコシである。単収が飛躍的に向上しているため、外国産の遺伝子組み換え植物を使用する必要はない。畜産現場では糞尿処理は高度に進み、バイオガスによる発電設備と残渣の堆肥化により完全な循環型となる。食品企業により経営される畜産業では、大規模

化が進み、専属の獣医チームにより疾病管理も徹底され、現在の個人経営に比べ伝染病の発生は極度に軽減される。

水産食品会社は政府との共同出資による研究開発により、50%以上の魚介類において完全養殖技術を開発し、日本各地の沿岸において完全養殖を行っている。特にエビやカニなどの甲殻類、貝やイカ、タコなどの軟体動物においても完全養殖技術が開発されつつある。

将来にわたり、日本人の水産物への依存は大きく変化はしないと考えられる。戦後日本における動物性タンパク摂取は肉類の摂取が徐々に増加してきたが、現在でも魚介類1.5に対して肉類1、と水産物が依然として多いのが現状である。生物多様性条約やワシントン条約、動物愛護団体などの国際的な情勢が、海洋資源の保護に向かっているのは必須である。したがって、水産業では魚介類の増養殖技術の開発が必須となる。タイやマグロなどの高級魚から始まった養殖技術は、現在、ウナギやヒラマサなどの完全養殖技術の確立に向かっているが、エビやカニ、貝類などの無脊椎動物も含め、日本人の口に入る魚介類が完全養殖により生産され、利益の出る産業となっていることは必須である。

### ③電力会社による農業現場での発電

農業現場では、電力会社が投資して、太陽光、風力や小規模水力発電に加え、家畜の糞尿によるバイオガス発電が盛んに行われている。農業現場における自然エネルギー生産（風力、太陽光、小規模水力発電など）の導入は進めなければいけないが、畜産現場においてはこれに加え、バイオガスによる発電設備がほぼすべてに導入され、残渣が耕種農家へと堆肥として還元される。

### ④畜産業と耕種農業の連携

バイオガスの残渣は有機肥料製造企業による効率的な発酵により質のよい肥料となり、耕種農業へと還元される。堆肥は化学成分の分析がなされ、添付されたマニュアルに従えば化学肥料と同様に使用ができるようになっている。

### ⑤優秀な人材の一次生産への流入

今から30年後、日本の第一次生産が持続的に若者の労働力を惹きつけ、花形産業となる道は、第三次産業あるいは第二次産業による第一次産業への進出である。まずは二次産業、一次産業のブランド力である。これにより、国民、特に若者の興味を惹きつけ、永続的に人材を獲得し続けることが可能であるからである。また、農林水産物流通業あるいは農林水産物加工業のマーケティング力と商品開発力、技術開発力を生かし、第一次生産を産業として推進することである。現在でもそのような動きは多々あるが、利益を得るようになるまでは、相当の時間を要し、撤退する例が多い。日本は戦後長きにわたり、自動車産業や半導体産業に税金を充てて技術開発のこ入れをし、多くの二次産業を育ててきた。これらの企業はブランドとして世界に広まり、その企業で働くことが人々の誇りであり、優秀な人材を惹きつけてきた。現存する企業の一次生産参入においても、国がイニシアティブをとり、技術開発コンソーシアムを形成し、戦後の工業発展におけると同様の投資を

しなければならない。

食料自給率を上げることの是非については、識者に譲ることとするが、第一次生産にブランド企業が参入することで社会的に認知された魅力ある産業とし、商品開発や技術開発のための人材を大量に雇用する道筋は重要であると考えられる。

#### ⑥農業から展開する六次産業化の限界

第一次産業から二次あるいは三次産業への展開、あるいはそれら産業間の連携は政策的に進められており、重要な方向性である。一方、現存する二次、三次産業の一次生産への進出は、一部の園芸作物をのぞき、あまり進んでいない。一次生産から出発するに必要な技術開発等については十分議論が尽くされていると考えられるので、ここでは三次産業から二次、一次産業へとたどる六次産業化を念頭に置き、その過程でどのような技術開発が進められるかについて述べる。

第一次生産なくして、人間の営みが成り立たないことは当然である。社会の分業化、あるいは食のグローバル化により、日本では農業従事者が激減し、先進国中では食料自給率が極度に低い国の一つになっている。世界的に見れば、一般的に先進国は食料自給率が高く、第一次生産には相応の投資をしてきた国々ということができる。しかしながら、食料自給率の高い先進国においても、第一次産業が農家に依存しており、政府、すなわち税金の補助を受けながら生きながらえていることは事実であり、この意味では、これらの国においても、第一次産業が必ずしも産業として成立してはいない。一方、貧富にかかわらず、食料は必要であり、国民に等しく豊かな食生活を保証しなければいけないという側面もあり、公共的な事業であることは間違いない。しかし、現在の農林水産業が都会生活に疲れた「例外的な」若者以外の興味を永続的に惹きつけ、技術開発や商品開発を積極的に進める優秀な人材を育成していくことができるだろうか？つまり、「現在の農業」に魅力を抱く若者がある割合で存在するにせよ、すべての若者にとって、第二次あるいは第三次産業へ抱くと同じようなイメージを第一次産業へ抱くとは考えがたい。

第一次産業の理想の姿は、二次、三次産業までもを包含する総合産業であるが、三→二→一と進むことが花形産業となる鍵と考える。ブランド企業が革新的な技術開発により従来のイメージを覆すような先端的農林水産業を生み出すことで魅力的な職場となり、従事する人々の勤労意欲を創出し、あるいは若者を惹きつけ、なおかつ利益を生み出すことができるようになる。サントリーのバラ、カゴメのトマト、古くはドールのパイナップル、チキータのバナナなどに匹敵するブランド作物が必要である。

#### ⑦海外における食料調達

30年後の食料自給率を60%と仮定したとしても、40%は海外からの輸入に頼らざるを得ない。しかし海外における日本国民のための生産を100%海外の農家や企業に頼るわけにはいかない。中国における野菜生産などが引き起こした問題を考えれば、日本の企業が管理した生産体制をとることが必要であり、またそのための技術開発も当然必要となる。

40%の食料を生産する海外の農地における生産技術開発は、国内生産における生産技術開発

とはまったく方向が異なる。たとえば、国内における小麦生産はもともと水田などに適した土地を使うために、耐湿性の克服を第一に考えなければならない。一方、海外におけるほとんどの生産では、耐乾性や耐塩性が重要な鍵となる。ランドラッシュにより、日本が海外で確保できる農地はますます少なくなっていくものと考えられるので、海外でもこれまでは耕作不適であった土地において、生育するような作物の開発が「日本において」きわめて重要である。ここでも国が主導権を握る技術開発ではなく、二次産業、三次産業の企業が国とともに技術開発をし、世界へ進出することが必要である。まさに自動車や半導体産業で日本がなしえてきたと同様の道筋で、一次産業に関わる多国籍企業を育てて行くことが急務である。この場合、技術開発には国との協力関係が不可欠であり、これがなければ中国で生産した野菜や食品の農薬問題を再現することになる。日本で消費する農水産物の品質は日本国民の監視下で保たなければならない。

### (3) 中間点である約15年後(2025年頃)の姿

ブランド力を持った第二次あるいは第三次産業が徐々に一次生産への進出を開始している。少品種大量生産および多品種少量生産のための圃場における品種あるいは栽培技術の開発や、施設を用いて温度、気象など徹底的に管理された条件下での品種、栽培技術の開発、またマイクロファームや植物工場における技術開発などが盛んに行われるようになる。このような技術開発にあたっては、企業を中心とし、政府や大学などが関与する技術コンソーシアムが形成され、ここを中心に革新的な技術が生み出されようとしている。

## 2. 目標とする将来への到達の道筋

### (1) 重点的に取り組むべき研究開発課題

#### ① 少品種大量生産、多品種少量生産作物の日本における技術開発

- 小麦、トウモロコシ、大豆といった主要穀物の国内生産をあげるため、耐湿性や高い単収を持った日本での耕作に適した品種の作出は急務である。また、圃場での農作業のロボット化に合わせた形態を持った品種の確立が急務である(実のなる位置がコントロールできる技術)。
- また、病害虫による60%のロス、30%のポストハーベストロスを限りなく0にするための農薬開発や抗病性品種の育種、また収穫後作物の保存技術の開発はきわめて重要である。最先端の農薬なしに国内生産を高め、世界的な食糧危機を回避することは不可能である。
- 微気象の予測技術が発達し、各農場における年間の生産計画が緻密に立てられることが必要である。
- 植物工場やマイクロファームにおける栽培に適した品種が各種開発されている。実のなる位置の制御を含め、ほぼ無人でロボットが作業できるための、斉一な器官形成制御の技術が開発されなければならない。
- 植物工場やマイクロファームにおいては、小さな面積で栽培するための連作障害防止技術の開発が必要である。

## ②動物性タンパクの生産技術

- ウシでは、人工授精技術の完全化とともに、急激な繁殖率の低下が起こっている。これにより生産性は従来の半分にまで低下している。人工授精用の精液を提供するオスの選抜法に問題があり、凍結精液中に有害な遺伝子が蓄積していると考えられている。従来のような乳量や肉質といった単純な育種目標だけでなく、繁殖性や抗病性などの多様な育種目標が求められている。いわばプラスの目標ではなく、マイナスではない育種目標の設定と、それを可能にする育種技術の開発が必要である。
- 産卵鶏やブロイラーの主要品種は完全に米国等に握られている。日本独自の効率的な品種の開発が必要である。
- 効率的な品種改良のためには、家畜の繁殖技術の開発と改良は必須である。ウシにおいて開発された数々の生殖工学(人工授精、受精卵移植、クローン技術、雌雄産み分け技術、遺伝子導入技術など)はヒトに応用され、生殖医療の基礎となっているが、これを効率的に他の家畜、ブタやヒツジなどに応用していくことが必要である。また、乳用牛あるいは肉用牛の凍結精液は広く流通しているが、近親交配が進んでおり、さまざまな有害遺伝子が蓄積していると考えられ、ウシゲノムの利用による現存精液の遺伝子型解析と改良の方向性の転換が急務である。
- 主要な魚種における完全養殖技術の開発は、水産食品に依存する日本の未来にとってきわめて重要であり、「獲る漁業」から「育てる漁業」への転換を一気に図るための技術開発が求められる。

## ③畜産と耕種農業の連携

良質な堆肥の生産技術の開発は、日本の国土への窒素あるいはリンの過剰流入を防ぐ唯一の手立てである。一次生産の現場において、プロトコル通りに使用できる有機肥料の開発は、良質で品質の均一な堆肥の生産技術にかかっている。

## ④海外の農業生産において有用な技術開発と技術移転

海外の農地で日本向けの農畜産物を生産するためには、日本国内とは異なる技術の開発が必要となる。作物でいえば、イネや小麦の耐旱性や耐塩性が重要な育種目標であり、そのための技術開発が必要である。また、畜産物では特に重要な地域として東南アジアなどの熱帯あるいは亜熱帯において最適化されたウシやブタの品種の確立、また暑熱環境における飼養技術の開発が必要である。

## (2) 重点的に取り組むべき基礎研究課題

### ①有用作物のゲノム研究、ポストゲノム研究の推進

有用作物の品種ごとのゲノム解析やポストゲノム研究(オミクス研究)は、人為的遺伝子改変によらない品種改良を迅速に進めていくうえで必要不可欠である。これからはトウモロコシ、小麦、大豆といった主要穀物の各品種のゲノム解析とポストゲノム研究を強力に推し進める必要がある。特に

植物の器官形成に関する研究は、企業化を目指した自動化農業において特に重要である。

日本の技術の海外展開においては、耐旱性、耐塩性といった育種目標を達成するための生理メカニズムの基礎的解明がのぞまれる。

#### ②各種の植物病虫害における病原微生物や害虫、病理メカニズムに関する基礎的研究

最先端の農薬(生物農薬を含む)を開発し、耐病性のある品種を育成していく上で重要である。日本では遺伝子組み換え生物に対する国民の理解は得られないとの仮定の下に、品種を育成するしかない。このためにも、病原微生物や害虫に関する研究(ゲノム研究を含む)および感染あるいは病態生理メカニズムの基礎研究は重要であり、その成果を免疫賦活剤などの開発に活かすことができる。

#### ③主要家畜を対象としたゲノムおよびポストゲノム研究

乳量や肉質、成長速度といった量的形質の遺伝子解析技術は、その端緒についたばかりであり、これらの形質の効率的に向上させるための遺伝子研究を徹底的に行うことで、品種改良の糸口となる。

家畜の場合は遺伝子発現から表現型発現にいたるメカニズムが複雑であるため、遺伝子を特定した後にも生理メカニズムに関する基礎的研究が必須であり、げっ歯類などさまざまな実験動物での基礎実験から、そのメカニズムの家畜への外挿が特に重要である。

#### ④魚類および無脊椎動物の繁殖生理、生態に関する基礎研究

ウナギやヒラマサなど現在重要魚種として研究が進められている魚類、またエビやカニ、アワビなどの無脊椎動物についての繁殖生理や生態に関する基礎的な研究が必要不可欠である。特に無脊椎動物については基礎的研究が遅れているため、繁殖のためのホルモンや神経系に関する解析、また人工飼料開発のための摂食や栄養に関する基礎的な研究を推進する必要がある。

### (3)人材育成・確保の方策

一次生産を産業の中に組み込んでいく上で、優秀な人材の確保はまず最初になさなければならないことである。現在農学分野に進む学生は多数いるが、多数の学生は製薬や食品、化粧品など一次生産とは無縁の企業へ就職している。現代の学生にとっても、職業の選択にあたってもっとも重視するのは、企業の大きさ、ブランドであることには変わりがない。

また、農学系の学生の進路を決める上で、所属研究室で実施されている研究は大きな影響を与えていると考えられる。大学の農学系研究室では、科学研究費補助金や農水省関連の研究費では研究が難しく、いきおい製薬や食品、化粧品業界などの民間企業からの研究費によって、研究が成り立っている場合が多い。当然、学生は研究室とつながりの深い業界へと流れていく。

このような流れを断ち切るためにも、大手食品企業や大手食品流通企業の一次生産への進出が欠かせない。まず、優秀な人材がこれら大企業のブランドに惹かれ、一次生産の研究開発へ流

れていくことが期待できる。また、一次生産へ乗り出した企業と大学が研究上の連携をくむことにより、大学における一次生産関連研究が進み、学生がそのような方向の研究に魅力を感じ、就職の方向が変わってくると考えられる。

大学での農学研究への助成においては、中身を精査し、一次生産に必要な研究を重点的に推進すること、また企業との研究コンソーシアムを促進するような施策が必要である。

#### (4) 融合・連携の必要性(融合・連携すべき分野・領域、システム化等)

- 農工連携はもっとも重要な課題である。特にロボット工学との連携は、圃場あるいは施設園芸のロボット化に重要である。また、植物工場やマイクロファームにおける作物生産には、環境制御技術などの工学との連携が必要である。
- 理学系、特に植物科学との連携は、有用作物のゲノム科学、あるいはポストゲノム科学を進めていく上で重要となる。
- 農業経済学は農学の中で重要な位置を占めてきた。今後は一次生産の産業化を進める上で、より実学的な分野、経営学との連携が重要となるであろう。

#### (5) 科学技術政策と他の政策との関連(政策連携等)

科学技術政策の重点課題として、常に食糧問題の解決が叫ばれ、ライフサイエンスへの重点投資の理由となってきた。このような問題解決意識の高まりにもかかわらず、ライフサイエンスの重点分野は医学へ偏り、農学、ことに一次生産への重点投資は政策の中で無視されてきた。今後の重点投資においては、一次生産に必要な研究分野を精査し、積極的に助成していくことが重要である。

#### (6) 産業・ビジネス・雇用の創出、科学技術と社会目標とのギャップ・橋渡し

- 二次産業あるいは三次産業で名だたる企業の一次産業へ関与は、そのまま雇用の創出を促す。特にこれまで二次産業や三次産業へと流れていた若者の興味を引き、一次産業人口を増加させるものと考えられる。
- 食料の増産のためには、人為的な遺伝子組み換え技術による生物生産はますます重要になっていくことは間違いないだろう。しかし、日本において社会的に認知されるためには、安全な技術の開発や技術の評価とともに、深い専門知識と広い視野、さらにコミュニケーション能力を持った Science Interpreter の養成が必要である。これによって、人為的な遺伝子組み換えを最大限利用しようとする科学とより安全な食料の提供を求める社会とのギャップを極力埋めていく必要がある。

#### (7) 人々の価値観やライフスタイルの変化、社会受容等

- 一次生産産業化に必要な技術開発予算を確保していく上で、食に対する国民の意識変革は、ことに重要である。一次生産あるいはその技術開発に相当のコストが生ずることを国民が理解し、

そのコストの一部を税金で負担するという意識が広く浸透することが肝要である。また「食料の輸入」は「海外農地の所有」に等しいという意識の変革が望まれると同時に、そのための外国への投資や一次生産技術の海外移転に対してもある程度のコスト負担が必要であることの深い認識が必要である。

- 人為的遺伝子組み換え技術に関する人々の意識変革は日本では相当に難航することが予測される。このため、現在は人為的な組み換えではなく、交配による遺伝子組み換えを目指した研究がなされている。人為的な遺伝子組み換えについては、その環境の影響等に関する研究を強く推進するとともに、その結果を広く知らせていくことが肝要である。
- 広く初等教育から生涯教育に至るまで、農業に対する理解を得るような教育を推進していくことは重要であるが、いわゆる農業体験のように、田植えをさせたり、土に親しませる、といったような教育だけでは、農業に対するイメージを固定化してしまい、現代的な一次生産の正しい理解にはつながらない。その結果、優秀な若者が一次生産から離れてしまうといったような現象が起きかねない。機械化された圃場や施設での生産や、ポストハーベストなど、現代の一次生産に対する正しい理解を促すような教育が必要である。

# グリーンイノベーションによって持続的に成長する日本

## 農林水産業の総合産業化

総合的な産業の一部として成立する農林水産業  
ブランド力のある三次、二次産業からの一次産業への展開

**継続重点課題**  
自給率向上の技術開発  
日本発作物・家畜品種の開発

**新規重点課題**  
海外農地のための技術開発  
マイクロファーム技術の開発  
作物・家畜品種の戦略的育種目標

**目的型の基礎研究**  
作物・家畜のポストゲノム研究  
作物・家畜の病理メカニズム解析

**新たな基礎研究**  
水産動物のゲノム解明と生理・生態研究

**人材育成策**  
大手食品流通・加工ブランド企業の一次生産への進出  
官主導産学官農業技術コンソーシアム促進

**政策間連携**  
一次生産に必要な研究分野の精査と積極的な助成

**改革 or 導入が必要な社会システム・概念**

GMOに対する国民的議論  
食料の価値に対する理解増進

**国際競争・国際協調**

海外農地に対する意識改革  
食料戦略に基づいた留学生など国際協力政策

## 環境変化への適応策

リーダー 東京大学 滝沢 智

東京大学 小熊 久美子

独立行政法人国立環境研究所 脇岡 靖明

パシフィックコンサルタンツ(株) 藤森 眞理子

パシフィックコンサルタンツ(株) 森本 達男

### 1. 将来社会の姿

#### (1) 大きな鍵となる事項

気候変動や社会経済活動による環境変化への適応力を高め、安全安心な社会づくりを支援する。

#### (2) 約 30 年後(2040 年頃)の将来の姿

日本の人口は、2010 年からおよそ 20%減少し、約1億人となっている。中でも、東京、大阪、名古屋などから離れた地域では、30%以上の人口減少率が観測された。人口減少には歯止めがかからず、不足する労働力を補うため、海外からの若年労働者の流入が進む。人口が急激に減少する地方の集落では、基礎的な公共サービスを受けることが困難となり、それまでの公的なサービスに替わって、民間企業が契約によりサービスを提供する形態があらゆる分野で進む。

一方、世界の人口は 90 億人に近づき、開発途上国では爆発的な都市化に都市インフラの整備が追い付かず、慢性的な水不足や都市型洪水に見舞われている。都市域での環境問題がより深刻となり、水質汚染、大気汚染、感染症が拡大する。これに対して、日本政府と日本企業は、国内での経験を活かして、独自の環境改善技術と環境マネジメント技術を確認し、上下水道などのインフラ整備に進出しているなど、開発途上国の環境問題の解決に大きく貢献をしている。

世界の食糧不足は慢性化しており、食物の価格は乱高下を繰り返しながら、徐々に上昇してゆく。このため、世界的に取引される農産物の価格を維持する試みが行われるが、生産国と輸入国との調整がつかず、農産物価格の安定化には失敗する。日本は、乾燥地に強い食物生産技術を確認し、制御された環境で農薬などを使わず、肥料などによる環境汚染を抑えた食物工場が各地に作られている。

石油など天然エネルギー資源の枯渇が現実的と考えられるようになり、これまで以上に、脱石油型の社会が構築されている。自動車は、その後も技術革新を重ね、先進国ではほぼすべてのガソリン車は日本企業がつくるハイブリッド車や電気自動車に置き換わり、それ以外の分野でも自然エネルギーの利用が拡大している。エネルギー価格の高騰から、あらゆる産業分野で省エネルギー型の構造転換が進行している。

気候変動の影響は顕在化しており、誰もが将来の環境に対する危惧を明確に持つようになっていく。太平洋の島嶼諸国やアジアの沿岸部では、海面上昇によると思われる水資源の塩水化が報

告され水供給が一層困難となるほか、農業は壊滅的な打撃を受ける。また、沿岸部の都市で洪水や高潮による被害が多発し、大規模な防潮堤工事などが行われる。

アフリカでは、人口増加と気候変動により、一人当たりの穀物生産量が大幅に低下し、慢性的な食糧不足から、飢饉が頻発し、平均寿命が低下する。環境難民の発生により人口の移動が起こり、地域的な紛争が多発している。水不足、燃料としての木材の不足も深刻化し、自然エネルギーを利用した水処理技術や太陽エネルギーを利用した家庭用・業務用燃料の利用が進んでいる。日本は、自然エネルギーを利用した生活のための技術を開発し、アフリカに技術移転することにより、地域紛争の解決に貢献が認められる。

日本国内では、温暖化の影響によると思われる熱暑による熱中症が発生、老人や子供の入院や死者が発生する。ヒートアイランド現象を緩和するために、都市構造の抜本的な見直しが進むとともに、都市内の未利用資源、例えば地下水の熱利用や、水道水を利用したミスト散水、下水道からの熱回収技術などが実用化される。

都市内の交通も大きく変化し、公共交通サービスにおいて電気自動車が普及するほか、発展途上国においてもガソリン車が大幅に減少し、CO<sub>2</sub> 排出量の大幅削減が進む。長距離交通においても、技術の進歩により、輸送人員・距離あたりの CO<sub>2</sub> 排出量の削減が進む。

都市の冷暖房システムについても、温暖化により暖房の熱需要が削減するため、効率的な冷房システムの導入が進む。石油資源などのエネルギーコストの増大は、省エネルギー機器の開発の動機となっており、エネルギー効率が高い空調機器や、自然エネルギーの利用、新しい建築資材の開発や、ビルや都市の構造の見直しが進んでおり、各地で環境にやさしい街づくりや、建築が進んでいる。

熱帯性の昆虫が日本列島に侵入し、日本国内でデング熱が発生する。下水道施設など高温多湿な場所で、年を通じて蚊が発生し、感染症のベクターとなるため、都市の蚊の媒介となる危険個所の見直しを行った結果、下水道やビルピットなどの構造基準の見直しなど対策がすすむ。

気候変動による生態系への影響が表れ始める。農作物の生産地域が変わり、高緯度地方や高地でそれまでとは異なった作物が生産されるようになる。また、気候変化に適応した農薬や施肥方法が採用されるようになっている。

これらの状況を背景に国際社会は、ようやく温暖化により大きな影響を受ける国々への支援体制を固め、日本は、アジア太平洋諸国への支援において中心的な役割を果たすことが求められる。そのため、日本は高度な災害予測技術を開発し、アジア太平洋諸国にリアルタイムで災害予測情報を提供するシステム運営の中核となる。

また、温暖化による生態系への影響について、長期間の観測データとシミュレーション技術の進歩により、精度の高い予測が可能となっている。これを組み込んだ、温暖化影響予測統合モデルが、将来の気候変動の影響をより正確に予測できるようになっている。

### (3)約 15 年後の姿

2025年、世界人口は80億人を突破している。人口増加率は、アフリカや中東で依然として高く、その他の地域では低下傾向にある。アフリカや中東では水資源の不足が一層深刻となり、MENA諸国では海水淡水化施設の導入がさらに加速する一方、サブサハラ諸国に対する支援が真剣に話し合われる。世界の多くの国で、都市への人口集中から、都市環境の悪化と都市のインフラ整備が重要な課題となっている。日本企業は、コンソーシアムを組んで海外のインフラ整備に進出している。世界各国の沿岸域では、経済開発によるマングローブの減少により侵食や水害への脆弱性が高まり、また、栄養塩や汚染物質の排出負荷の増大により、赤潮などの発生頻度が高まる。

水産資源の減少や、農作物価格の乱高下を繰り返した結果、水産資源の保護や捕獲、農産物の輸出入をめぐる、先進国や開発途上国、輸出国と輸入国、環境保護を訴える国々など、世界は多極化しつつ対立が深まる。日本は、水産養殖技術の開発を進め、乾燥地に強い農作物などの開発にとり組んでいる。

気候変動の影響については、日本はアジア太平洋諸国を含めた観測ネットワークを確立し、日本の研究者が先導的な役割を果たしている。まず島嶼諸国やアフリカなどで気候変動の影響と思われる現象が観測されるようになる。水や食料の不足、洪水や早魃などの自然災害が増え、国際社会はこれらの国々の支援策について会議を重ねるが、具体的な支援策の合意には至らない。また、世界はCO<sub>2</sub>削減を求める国々と、経済成長の権利を主張する国々にますます分裂し、対立が深まる。

また、アルプスやヒマラヤ山脈では積雪量の減少傾向が観測される。そのため、これらを源とする水資源の減少を見込んで、関係国では、渇水につよい農作物への転換や、水の再生利用などのニーズが高まる。

日本も、低コストの海水淡水化技術や、水の再生利用システム、乾燥に強い農作物、太陽熱を利用したエネルギー利用技術、長期の気象・災害予測システムなどを開発し、気候変動の影響を受けやすい地域の支援を、UNDP などとともに開始する。特に、海水淡水化技術では、2010年時点の約半分のエネルギーで運転可能な高度な逆浸透膜が開発され、プロセスのエネルギー回収率が高まった結果、世界をリードしている。また、気象衛星や高度な気象予測シミュレーション技術の発達により、世界のあらゆる地域での気象予測への取り組みが始まり、短期の渇水・洪水などの発生確率が予測されるようになっていく。

温暖化により、マラリアやデング熱を媒介する蚊の移動が問題となり、温暖化した地域で、蚊やその他のベクターの対策が議論されるようになる。特に、温暖な水たまりをなくすための調査研究がすすめられ、ビルピットや下水道などでの蚊の増殖について、検討が始まる。熱射病による被害が発生し、熱射病や脱水症状対策が真剣に議論されるようになる。日本は効率的な空調機器や、熱対策用品の開発に力を注いでいる。

農業生産高も年によって大きく変動し、特に、早魃などに見舞われた低所得国では、国民の平均寿命が低下する。これらの国では、難民が増加し、近隣諸国への環境難民流出が始まる。世界中の難民数は増大し、環境難民の支援が国際的な問題となる。日本は、低エネルギーでコンパクト

トな衛生施設を開発し、また、水の再生利用システムを低価格・高度化することで、これらの難民の支援を始める。

国内では、日本各地で人口の減少が明らかとなり、特に山間部での人口減少と過疎化が進行している。このため、医療や上下水道などの基礎的なサービスが維持できなくなる自治体が顕れる。都市にまとまって住む形態と、分散型のサービスを普及することが検討されるが、どちらかの方針は各自治体に任される。山間部では森林の管理がさらに困難になり、森林再生の技術や政策が議論されるようになる。

国際的に CO<sub>2</sub> 削減が合意された結果、あらゆる分野において Carbon Footprint が測られるようになり、日本も目標を達成するため、CO<sub>2</sub> 削減の技術や政策に関する研究が加速する。その結果、産業・生活のあらゆる部門で CO<sub>2</sub> 削減の検討が進み、CO<sub>2</sub> 削減型の施設や機器が作られるようになる。公共交通システムの見直しが始まり、電気自動車などの普及が加速する。上下水道などの公共サービス分野でも、CO<sub>2</sub> 削減が重要課題となり、省エネルギー型の水処理技術の開発が進むほか、エネルギー回収技術への研究開発がさらに加速する。

農業では、温暖化により、それまでの作物の生育状況に変化が顕れるほか、農薬や肥料についても従来とは異質なるものや量が必要となる。このため、温暖化に適用した農業や農薬については研究に着手する。

都市の気温はさらに上昇し、都市廃熱の削減、ヒートアイランド対策などが求められる。地下水や河川水、海水を利用した都市廃熱の除去技術についての検討が進み、これらの技術を導入するビルが顕れる。また、都市の乾燥化がさらに進み、火災の発生件数や、インフルエンザなどの発生件数が増加する。その対策として、水道水を利用したミストなどの散水技術、下水の再生水を利用した散水などが検討される。

## 2. 目標とする将来への到達の道筋

### (1) 継続的に取り組むべき重点的研究開発課題

- 気候変動や社会経済活動による環境変化への適応力を高め、安全安心な社会づくりを支援するためには、水資源、生態系、農林水産業、沿岸・防災、健康などの人間社会に関連する様々な分野において、高度な環境予測技術を構築して、将来の環境悪化を回避する処方箋を準備しなくてはならない。
- 水資源に関しては、洪水や渇水、水温や水質変化を評価するための、河川、湖沼、地下水モデルの高度化に取り組まなくてはならない。特に、気候変動に伴うダム堆砂量変化を表す土砂動態評価手法や、水質変化に係わる物理的・科学的・生物学的プロセスの定量化が全てのモデルにおいて必要である、また、渇水に関しては、需要予測も重要であるため、社会経済状況(人口、ライフスタイル、経済成長、食糧自給率、土地利用)を考慮した高度な予測手法が求められている。被害軽減のための個別技術に関しては、安定した供給量を確保するために、安価で高性能な浄水技術や下水処理水再利用技術、雨水利用技術の高度化が求められる。また、需要側としては、安価で高効率な節水技術

の開発とその導入の促進が必要である。

- 生態系(淡水生態系、湿原、サンゴ礁、マングローブ生態系、干潟・藻場生態系など)に関しては、様々な種の分布適域推計手法の精緻化を行うと共に、生物地理化学過程や植生動態を取り込んだ予測手法の構築も必要である。被害軽減のための個別対策技術としては、保全システムの構築のための長期かつ広域モニタリング調査手法や、多様な保全技術の確立が求められる。
- 食料に関しては、農業分野では個々の作物を対象として、生育や収量形成過程を取り入れた予測手法の開発が必要である。畜産業では、気候変化と家畜の生理的応答について予測の精緻化が求められる。水産業では、魚種別の生育プロセスを考慮した予測手法が求められる。このような予測技術の高度化に加えて、品種改良や、土壌や生態系保全技術の高度化など、被害軽減のための個別対策技術の高度化も必要である。
- 沿岸・防災に関しては、信頼性の高いデータ(高精度の標高データ、堤防や護岸などの防護構造物のデータ)を整備し、洪水氾濫や高潮浸水、海岸浸食の影響評価手法の高度化を推し進める必要がある。被害軽減のための個別技術に関しては、広域防災ネットワークを構築し、リアルタイムで雨量・水位・警戒情報が広く一般に伝達される技術が必要である。
- 健康に関しては、暑熱(熱ストレス、熱中症)、大気汚染、感染症(水系感染症、蚊媒介感染症など)、自然災害による感染症発生、衛生害虫の分布拡大などの予測手法の高度化が求められる。具体的には、暑熱に関しては、生理学的なプロセスを考慮した評価手法の開発、感染症に関しては 気象条件や細菌数などと各種感染症発生との関連性を組み込んだ手法の開発、大気汚染に関しては光化学オキシダント発生メカニズムと死亡リスクの関係性を精緻化する必要がある。被害軽減のための個別技術対策には、広域警戒ネットワークを構築し、リアルタイムに警戒情報が広く一般に伝達される技術が必要である。さらに、感染症に関しては、媒介蚊や感染患者を通じた病原体の侵入の早期発見モニタリングシステムの構築や、各種病原体に対するワクチンおよび新治療法の開発などが必要である。
- 以上のような分野別の環境予測技術の開発・精緻化に加えて、分野間の複合的影響を予測可能な統合的手法の開発も必要である。また、これらの技術は、社会経済・人口動態の変化に応じて、開発や普及がなされる必要があることに留意すべきである。

## (2)新規に取り組むべき重点的研究開発課題

- 最適な適応策実施の評価法・判断基準づくり

気候変動への適応策や個別適応技術の有効性を評価するため、既に保有している様々な個別技術を適応策としての視点から評価し、気候変動影響に対してどの程度まで有効か、新たに追加的に必要となるのはどのような技術要素かを明確にするための評価手法の確立が必要となる。これらの適応技術の開発を、いつ、どのように推進すべきかを判断する際

には、それらを用いた新たな適応策を実施するために要するコストと、適応策を行わない場合に受けるかもしれない被害のコストとの比較評価手法の確立も必要となる。影響評価や適応策の評価については、特に自治体などのローカルレベルにおいて、実際の評価や適応事業の実施に携わる担当者レベルで利用しやすい技術や手法を、最新の科学的知見を踏まえつつ開発することが急務である。

- 観測技術と予測技術の統合

最新の科学的知見を即座に実際の適応策に反映させることができれば最も望ましいが、そのためには、影響評価や適応策の実施に将来予測結果を反映させるための、不確実性を前提とした意思決定と、コスト面も含めた適切な影響・適応評価手法の確立と実施、さらに、それらの評価や事業実施サイドが要求する精度の観測や将来予測を実現するための、関係者間の対話や理解、相互フィードバックをつうじた観測技術と予測技術の統合が必要である。

高コストを伴う最新技術から、低コストの従来型技術まで多様な選択肢があり得るが、影響を受ける主体の状況・特性に応じて、観測・予測結果を踏まえ、現場での利用しやすさや実際の適応策としての実現可能性も考慮しつつ意思決定を行うための、科学－政策－実務を効率的につなぐシステムを構築すべきである。

- 柔軟性の高い新たな適応技術の開発

気候変動をはじめとする不確実性の高い環境変化に適応するには、従来技術の高度化・統合化とあわせて、従来とは異なる発想の個別対策技術も必要となる。例えば、人命に直結する被害の懸念がない場合は、豪雨や洪水等で損壊されることを前提としたインフラ技術が有効となる可能性もある。損壊されることで極端な外力を弱めたり、損壊しても再建が容易であるような構造物の開発・設計や、そのような構造物を適用することで望ましい効果をえられる場所の選定などの技術が必要とされる。

別の例としては、気象・気候の条件が変化することによって、新たに導入や利用が可能となる生物資源の探索と、それらを活用する技術の開発が挙げられる。従来の動植物種などとの競合の可能性を予測し、保護すべきもの、排除すべきもの、活用すべきものなどを見極めるための評価手法や、新たな資源としての活用可能性を探り、望ましい活用を進めるための技術の開発が求められる。

### (3) 重点的に取り組むべき目的型の基礎研究課題

- 環境変化の理解と予測には、極めて演算能力が高いコンピュータシステムが不可欠であり、高性能コンピュータの開発は極めて重要な基礎研究課題である。具体的な開発方針として、高性能コンピュータのさらなる性能向上をはかるだけでなく、高性能コンピュータの低廉化による台数増設という戦略が効果的である。これは、コンピュータを増設し一台あたりの演算負荷を分散することで予測の精度や速度を向上させる策であるが、現在のスーパーコンピュータは極めて高額であり、コストが障壁となって世界的な普及、特に途上国

での導入を妨げている。したがって、性能を低下させずに、あるいは、一定の性能低下を許容してでも、高性能コンピュータを低廉化し、国際市場競争力のあるコンピュータを製造し、さらに流通させるしくみを構築する必要がある。また、安価な高性能コンピュータ開発と並行して、並列計算アルゴリズムを改良する余地もある。

- 気象観測の分野では、観測の空間的・時間的密度を向上する目的から、全球的に使用できる長寿命気象観測センサーの開発が期待される。極地、高地、僻地など、気候変動や環境変化の理解と予測に重要でありながら、十分に気象観測が行われていない地域は数多い。そのような地域の気象情報を長期間にわたり測定し、リアルタイムに送信するセンサーを全球的に高密度に設置できれば、気候変動や環境変化の理解と予測に極めて有効な情報が得られる。したがって、高性能、長寿命、かつ、廉価な気象センサーの開発は、環境変化予測という目的達成へ向けた重要な基礎研究のひとつである。
- 農業分野では、気候変動に適応可能な品種、すなわち、乾燥・高温・病害虫に強い品種の開発が求められる。また、耕作可能面積の減少に備え、穀物など主要品種について単収増加の改良をすすめるとともに、効果の高い新規肥料や施肥方法の開発が求められる。さらに、病害虫の北限上昇や害虫種の変化を想定し、高効果で低環境負荷の新規農薬の開発が重要である。
- 人の健康に関する分野では、水系感染症や蚊媒介感染症の研究が重要となる。具体的には、洪水時の水利用行動の精緻な解析に基づく感染リスクホットスポットの洗い出し、亜熱帯性感染症の疫学的基礎研究、ワクチンや新薬の開発と増産が重要である。

#### (4)重点的に取り組むべき新たな基礎研究課題

- 新規汚染物質と称される物質群は、環境中での挙動が十分に理解されておらず、人体や生態系への影響も不明確で、さらに、その処理方法が十分に確立されていない。よって、それら物質による環境汚染の現状調査を通じて将来の環境変化の影響を予測し、さらに、その効率的な処理技術を確立することが、今後の新たな基礎研究として極めて重要である。具体的な事例として、気候変動により降雨強度が増した場合を想定すると、新規汚染物質の水環境への流出がどの程度増加し、それが水処理や水利用にどのような影響を及ぼすのか、科学的データに基づいた予測が求められる。また、豪雨による汚染物質の急激な増加を想定し、それに迅速に対応しうる処理技術の開発が望まれる。
- 加えて、汚染物質が毒性を発現する濃度について、基礎的実験データの蓄積が待たれる。一般に動物実験は長期間を要するが、化学物質の流通の趨勢を勘案すると、動物実験データ蓄積の迅速性がこれまで以上に重要である。具体的には、遺伝子組換え微生物による毒性試験やゲノムチップアレイによる毒性試験のように、低コスト、短期間で、網羅的に毒性検出が可能な手法を開発・改良するとともに、それら試験の結果を実際の生体毒性にいかに関わり読み替えるかのプロトコル作りが重要である。
- 毒性試験データを活用して生体リスクを算定する研究分野では、将来の環境変化に伴う人

の行動変化(平均気温上昇による水摂取量の増加など)や社会構造の変化(高齢化など)により、現状で社会的に許容しているリスクレベルを30年後は受け入れられない可能性がある。したがって、毒性試験結果の解釈に重要な人間行動や社会構造因子を具体的に列挙し、それらが将来どの程度変化しうるのか、また、その変化によって生体リスクがどのように影響を受けるのか、基礎的研究成果の蓄積が急務である。

- 衛生と医療に関する研究分野では、将来の新興感染症の発生を過去の病原性微生物の遺伝子変異などから予測し、微生物感染ルート断絶やワクチン開発などの予防策立案に資する基礎研究が重要である。加えて、電力インフラ設備が不十分な遠隔地の衛生状態や医療サービスの改善につながる研究が重要である。具体的には、無電源運転可能な消毒システム、太陽光や風力など自然エネルギーを用いて自家発電可能な消毒システムなど、小型分散型で電力グリッドに依存しない革新的な消毒装置の開発が望まれる。また、ワクチンが提供されても冷蔵保存できない途上国遠隔地域が多い現状を考慮すると、無電源地域で長期常温保存可能なワクチンなど、保存性の観点から新ワクチン開発に取り組む研究が重要である。さらに、気候変動の深刻化を少しでも食い止める観点から、温暖化ガス排出削減またはゼロを目指す衛生・医療システムの開発が必要である。
- 最後に、これらの新たな基礎的研究はすべて連携し統合的に展開する必要があり、統合手法の開発や分野横断的研究に対する支援が極めて重要である。

#### (5)人材育成・確保

環境変化への適応策に関する上記の継続研究を推進する環境工学、情報工学、都市工学などの人材は日本には多数おり、個々の研究者が独自の研究を実施している。しかしながら、新規課題に取り組むためには、個別・独自という縦軸的な観点ではなく、むしろ総合や統合さらには複合といった横軸的な観点で分野連携した領域での研究者の育成とそれらの研究者を牽引していく人材の育成が望まれる。とくに、経済学や社会学分野の専門家と工学や理学、農学など自然科学系分野の専門家との異分野間の人材交流や共同研究といった領域の融合や産学連携もさらに進展すべきである。大学や公的研究機関内からの人材確保のみならず、産業界や経済界からの積極的な登用による人材確保も有益となる。研究成果を世界に対して能動的に発信でき、国際社会の中での日本を強くアピールできる産官学連携組織や人材育成も必須となる。

#### (6)融合・連合の必要性(融合・連合すべき分野・領域、システム化等)

自然科学分野だけでなく、経済学、社会学など人科学分野とも連携が必要である。

#### (7)改革や導入が必要な社会システム・制度・マネジメント等

- 競争的な研究環境と研究のためのインセンティブ付与  
よりすぐれた研究を持続・発展するためには、明確な目標設定をしたうえで、競争的な研究

環境を構築する。例えば、奨励金や称号付与などのインセンティブの付与制度の創設も考えられる。これらの制度設計に際しては、単なる勝ち負けの競争ではなく、公平性・透明性・客観性さらに国際性を保持したものでなくてはならない。

- 研究成果の実用化支援

研究成果を社会実装する際は、複数の試験的運用によって十分に実証されなければならず、そのための支援を国が積極的に実施する。研究・開発段階、実証段階、そして実用化後の事後評価と評価結果の反映段階、それぞれの時期に、必要となる支援措置を適切に創設していくことが必要である。特に、様々な事由による研究内容の途中段階での中止や修正・再試行などへの転換事態にも、柔軟に活用できる制度であることが望ましい。

- 研究成果の広報、社会認識の醸成

研究成果の正確かつ迅速な広報も社会認識の醸成に欠かせない事項となる。研究成果のすばらしさや研究内容の正確な情報伝達には、信頼性の高いマスメディアの活用が不可欠である。

#### (8)科学技術政策と他の政策との関連(政策連携等)

産業政策、都市計画及び社会資本整備計画、環境政策、税制、など複数の分野との関連性が高く、社会実装を考えるとこれらの分野と連携が必要である。また、科学技術外交においても極めて重要な領域である。

#### (9)産業・ビジネス・雇用の創出、科学技術と社会目標とのギャップ・橋渡し

適応策のコストだけを負担させるのではなく、適応策をとることが産業にとっても競争力を高め、利益を増加させるような政策や技術の開発が必要である

#### (10)人々の価値観やライフスタイルの変化、社会受容等

人々に強いる形での環境適応策は成功しない。人部との価値観やライフスタイルに合わせて、自然に達成できる適応策を考える必要がある。

#### (11)国際的視点(国際協調、国際競争、世界の一員としての視点、東アジアの視点等)

環境変化への対応策に関する科学技術は、地球規模による国際協調の中において、その真価が求められるものである。二国間・多国間の技術交流や技術支援を通じ、他国でも研究に取り組むことによる効果を共有化すべきである。例えば、疾病や食糧問題の対応についても我が国のみで論じられるものではなく、関係各国が協働的かつ競争的に研究活動を進めていく中で醸成されることになる。先進国の一員として、主導的な役割を期待される我が国の研究者においては、研究成果がこれら国際競争や国際協調においてどのような影響を与えるのか、常に意識することも重要である。

**【参考資料】**

[1] 総務省統計局、世界の統計 2009、<http://www.stat.go.jp/data/sekai/index.htm>

[2] IPCC 第 4 次評価報告書、第 2 作業部会報告書、政策決定者向け概要 2007

[http://www.env.go.jp/earth/ipcc/4th/wg2\\_spm.pdf](http://www.env.go.jp/earth/ipcc/4th/wg2_spm.pdf)

[3] 地球温暖化「日本への影響」[http://www.nies.go.jp/s4\\_impact/pdf/20080529report.pdf](http://www.nies.go.jp/s4_impact/pdf/20080529report.pdf)

# グリーンイノベーションにより持続的に成長する日本

## 環境変化への適応策

気候変動や社会経済活動による環境変化への適応力を高め、安全安心な社会づくりを支援する。

### 継続重点課題

高度な環境予測技術、被害軽減のための個別対策技術の高度化、モデルの精緻化

### 新規重点課題

最適な適応策実施の評価法・判断基準づくり  
観測技術と予測技術の統合  
柔軟性の高い新たな適応技術の開発

### 目的型の基礎研究

高性能コンピュータ技術とアルゴリズムの開発  
長寿命センサの開発

### 新たな基礎研究

有害物質の除去技術  
人体・生態系への毒性評価方法の開発  
統合的な評価

### 人材育成策

分野横断的な人材の育成  
基礎科学と応用科学との融合  
経済・社会的な分野での人材育成

### 政策間連携

科学技術/環境/産業/外交

### 改革 or 導入が必要な 社会システム・概念

競争的な研究環境、適応策研究のための  
インセンティブの付与、研究成果の実用化支援  
研究成果の広報支援、社会認識の醸成

### 国際競争・国際協調

多国間交流、アジア開発途上国への支援、  
複数の国で協調的な研究を進めることの  
メリットを示す(疾病、食糧問題など)

## 少子高齢化時代の健康維持・増進

リーダー 国立国際医療センター研究所 加藤 規弘  
国立保健医療科学院 今井 博久  
福井大学 此下 忠志  
独立行政法人国立環境研究所 高野 裕久  
島根大学 並河 徹  
九州大学 山本 健

### 1. 将来社会の姿

#### (1) 大きな鍵となる事項

生涯カルテに基づき、“テラーメイド”の、心と体の健康管理を行う。

#### (2) 約 30 年後(2040 年頃)の将来の姿

国立社会保障・人口問題研究所および国連の推計によれば、30 年後(2040 年)には、我が国の高齢化率(65 歳以上の高齢者人口が総人口に占める割合)が 36.5%に達する見通しである。すなわち、総人口の 3 分の 1 以上を高齢者が占めることになる<sup>1)</sup>。2005 年に日本の高齢化率が欧米主要諸国を上回って世界一となって以来、そのまま今後 30 年後まで世界一を継続する見通しであるが<sup>2)</sup>、韓国や中国でも日本に遅れて、同様に、より急速に高齢化時代に突入すると考えられている(韓国でも 30 年後には高齢化率が 30%を超える見通しである)<sup>3)</sup>。30 年前(1980 年)に比べると、男性で 6 歳、女性で 8 歳、日本人の平均寿命は延びており、ややペースが落ちるとしても、30 年後の女性の平均寿命は猶に 90 歳を超えてしまう。将来の死亡原因の主要部分を占める疾病は、がん、心疾患、脳血管疾患の「3 大疾患」であり、男女とも死因の 50%を超えるであろうと 2008 年時点で推定されている<sup>4)</sup>。もし、これら「3 大疾患」が完全に治療できるようになれば、男女とも更に 7 歳以上平均寿命が延びることになる。また、身体現象の一つである「老化」の研究が進み、医学・生物学的に老化を遅らせることが可能となれば、30 年後には平均寿命が 100 歳を超えるという状況も十分にあり得る<sup>5)</sup>。

日本型食生活と国民皆保険制度の普及の 2 つが、従来の、日本人の平均寿命の急速な伸びを支えてきた。しかし、今後の、更なる高齢化に向けて大きな状況の変化が予測される。日本型食生活とは、米を主食に、魚介・野菜・豆類などを副食にした伝統的な食生活であり、食塩摂取が過剰となること以外、健康維持の面から好ましいと考えられている。日本は、世界一の魚消費国であり、魚から(抗動脈硬化作用を有する)高度不飽和脂肪酸を摂取しているが、欧米・中国などで日本食ブームが起こり、多くの魚が食べられるようになっており、30 年後には日本人の消費量を十分に確保できない可能性もある<sup>6)</sup>。また近年、日本人の食生活が欧米化するとともに、野菜・豆類の摂取量は低下傾向を示しているが、「3 大疾患」の予防のために「食育」が精力的に推進され<sup>7)</sup>、個人個人の体質に基づいた、きめ細かな食生活管理も 30 年後には浸透しているであろう。食事からの必

要栄養分の摂取に加えて、サプリメントとしての、疾病予防を意図した、個々に必要な栄養の補給がより一層進むと推測される。これらの‘テラーメイド’の健康管理については後述する。

これまでの国民皆保険制度は、総人口に対して就業者人口が十分な割合で存在することが、その前提となっている。しかし少子高齢化とともに、高齢者に要する医療費は急速に増加しており、30年後には、保険診療の枠組みの見直し(自由診療、混合診療の裁量の拡大)と高齢者雇用の推進(退職年齢の引き上げ、たとえば定年が70歳となる)が社会全体として余儀なくされるものと推測されている<sup>8)</sup>。医療費削減につながる「予知予防」が保健医療対策の中軸を成すとともに、高齢になっても、生き甲斐をもって健康に第一線での就業を続けられることが不可欠であり、そのためには、多くの人々が心と体の健康を維持できるような‘社会システム’が必要となる。その‘社会システム’の一つとして想定されているのが「生涯カルテ(生涯電子カルテ)」<sup>9)</sup>であり、それに基づいて“テラーメイド”の健康管理、予知・予防医療が推進されるであろう。「3大疾患」はいずれも慢性晩発性疾患であり、何十年もの「ツケ」が病因の主要部分を成す。この「ツケ」は、外界からの様々な要因(食事、嗜好品、運動不足、過剰な精神的ストレス、環境ホルモンをはじめとする環境汚染物質、放射線・紫外線等)への「曝露」と、それらに対する身体の「反応性・感受性」との間のバランスにより、各人特有に蓄積されるものである。すなわち、環境と遺伝(体質)との相互作用が、その基盤的役割を担っているため、個々人の遺伝(体質)情報に基づいて、生後早い段階から、不利益な環境(要因)を回避させることが、その人の、“生涯”にわたる健康維持のために必要となる<sup>10)</sup>。30年後には、このような予知予防医療を科学的に推進することが可能になると見込まれる。また、個人ごとの「処方・指針」に沿って健康が適切に維持されているか否かを経時的に調べ、生涯にわたり一元的に管理されるカルテ(electric health record: EHR)に収めることによって、遠隔医療(小型化された機器を用いて、在宅にて健康モニタリングし、電話回線・ウェブ等を通じて、随時、専門家のアドバイスを受ける)や疾病の早期発見・早期治療も可能になる<sup>11)</sup>。

ここでの健康とは、単に身体の疾病がないことのみならず、心(精神)の健やかさ、生き甲斐をも含むものである。生を長く享受するためには、精神的、物質的、両側面での安定・安心が必要である。したがって、医学・生物学的な取り組みとともに人文社会的な取り組み(体制整備)も欠かせない<sup>12)</sup>。直接、生命予後を左右するような疾病以外に、比較的程度の軽いもの、すなわち QOL を低下させるような「健康状態」への影響(健康影響)を把握することの重要性が増してくると考えられる<sup>13)</sup>。

### (3) 約 15 年後の姿

現時点では、高齢者への保健医療対策として「安心・安全を目指す医療」(脳機能低下の抑制や幹細胞を用いた臓器再生など)という取り組みが精力的に推進されている。また、介護や機能回復・修復を支える技術の開発を目指す「新しい医療技術の創造」という取り組みも、既にスタートしている。15年後には、これら二分野での多くの課題は実現していると予測されるが、それにつれて、前項で述べた「予知・予防医療への展開」が、より重点的に、中軸分野として取り組まれていくであろう(図 1)。

また15年後には、多くの科学者の間で環境問題が中心的課題になっていると推測される<sup>14)</sup>。中国やインドを中心とした新興国が経済発展を遂げ、急速に台頭するに伴い、様々な環境問題(温暖化問題、水・大気・土壌などの汚染)が深刻化し健康影響をもたらすであろう。同じアジア地域に属する我が国は、今後、少子高齢化における健康科学・医学面の対策で‘role model’を提示するだけでなく、健康に深く関わる環境面の対策での大きな国際的貢献も期待されている。

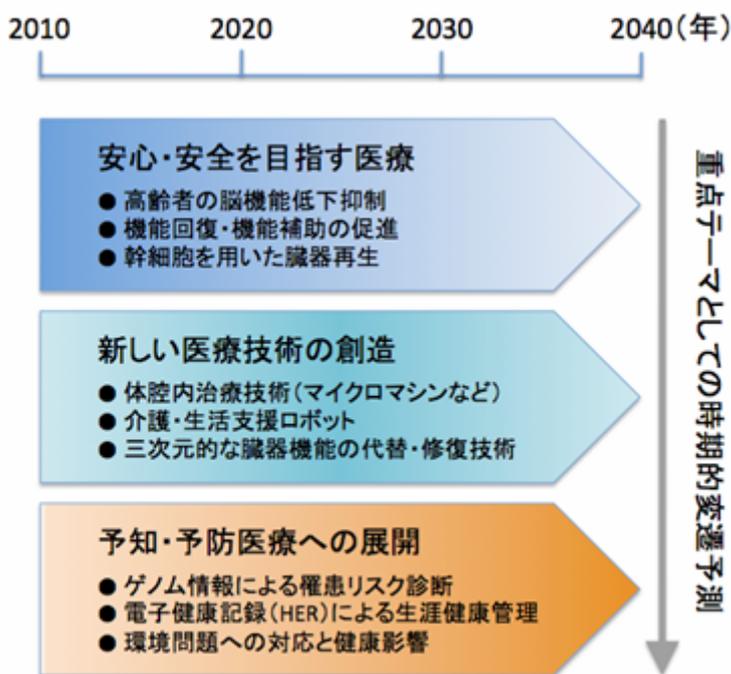


図1 少子高齢化社会に向けた重点的取り組み

## 2. 目標とする将来への到達の道筋

治療(特に薬物治療)をテーラーメイド化する試みは既に始められているが、疾病の発症および予後を個別に「予測」するためには、体質とともに、環境曝露の度合いを定量的に評価し、健康障害における因果関係を検証する必要がある、これは今後の新たな研究課題である。高齢化において社会全体に大きな影響を及ぼす疾病は生活習慣病であり、通常、その発症までに相当な歳月を要する(その間、追跡せねばならない)ため、従来の疫学研究手法だけでは、上述したようなニーズに十分応えることが難しい。そこで、ヒトの集団(個体)を対象に行われてきた疫学研究に、一部分、*in vitro* 実験(生体機能を模倣する人工的臓器・組織を用いた研究)を組み込んだ“トランスレーショナル疫学”とでも呼ぶべき新たな研究手法(図2)の開発と推進が、第一の重点課題として挙げられる。こうした「予測」を行ううえで、先ず何が健康にとって不利益な環境要因であるのかを網羅的に「同定」する部分も重要な研究課題であり、そして「同定・予測」された環境要因の回避(特に食事・運動などの生活習慣の修正)を代替(肩代わり)できるような健康食品や薬物を「開発」することも、予防の実効性を高めるうえで重要な研究課題となる(図3)。予知・予防医療へのパラダイムシフトにおいて、社会的インフラとしての中心的役割が期待されるのは「生涯カルテ」である。技術的には十分に実現可能と考えられるものの、生涯カルテの導入と普及には社会的受容と、倫理的配慮が不可欠となる。また高齢化率の上昇に関連した医療費・就業の問題、さらに新たな人材の育成、環境問題に関する国際協調なども政策間連携として国を挙げて取り組まれる必要がある。

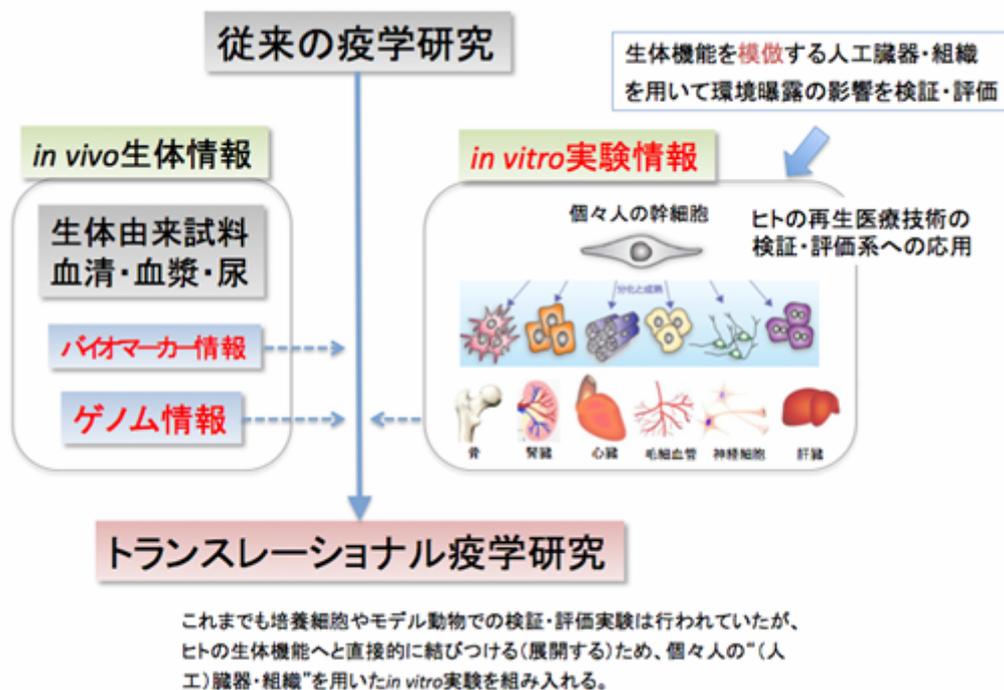


図 2 テーラーメイド健康管理に向けた新たな疫学研究

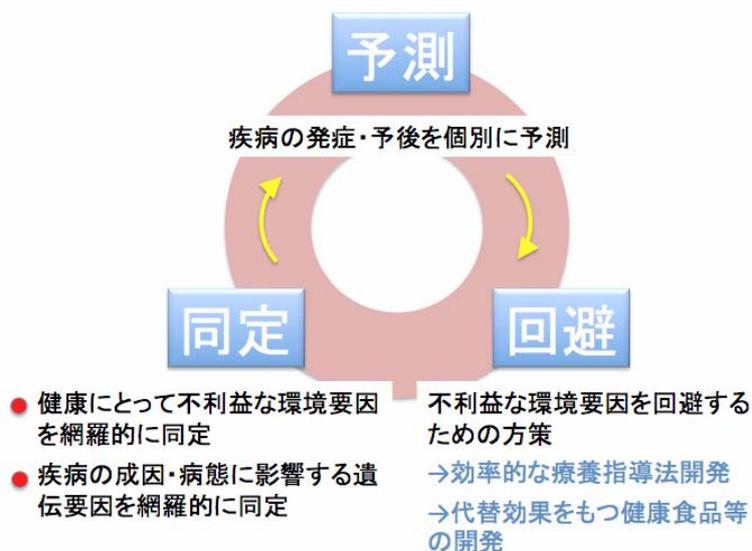


図 3 テーラーメイド健康管理における基軸課題

(1) 重点的に取り組むべき研究開発課題

① 継続して重点化すべき課題

- 予知に関して、「3 大疾患」などの多因子疾患の発症、進展を高精度に予測可能な技術の開発に継続して重点的に取り組む。なかでも、素因遺伝子と相互作用して疾病の発

症に寄与する環境要因を系統的に同定し、効率的に検証するための研究手法(研究ツール)の開発が不可欠である。

- 予防に関して、個々人の生活習慣改善のための努力は推奨されるものの、生活習慣改善と同程度の効果をもたらす、健康食品・薬物等の開発にも重点的に取り組む。禁煙パッチや糖の腸管吸収抑制物質など、一部分、すでに臨床応用、市販されているものもあるが、その対象を広く拡大し、安全性を高めて、サプリメントとして‘テラーメイド’健康管理の一つの軸とすることが必要である。
- 健康障害を既に生じてしまった人に対する、病態悪化防止(二次予防)のための、安価で簡便な診断法(在宅健診などの社会的インフラを含む)、効果的な治療法の開発に重点的に取り組む。
- 介護を必要とするような重篤な疾病に既に罹ってしまった人(要介護者)に対する、QOL向上を目指した技術の開発に重点的に取り組む。

## ②新たに重点化すべき課題

- 避けるべき環境要因を、生後の早い段階より検討し解明することに重点的に取り組む。低濃度で長期にわたる環境汚染物質への曝露による健康影響、環境要因の複合曝露による健康影響、これらの曝露要因に対する個人個人の感受性の違い、観察結果の生物学的妥当性等、を明らかとする研究は、少子化で減少しつつある次世代の健やかな成長に不可欠である。

## (2)重点的に取り組むべき基礎研究課題

### ① 目標を明確にして進める基礎研究課題

- 上述した‘トランスレーショナル疫学’研究を推進する前提として、高品質・高精度の疫学情報、医療情報を経時的に収集し、かつ個々の被験者からバイオリソース(生体由来試料)の提供を受ける大規模コホート(集団)の全国的な整備が不可欠である。
- 妊娠中の母体が受けた曝露要因(環境汚染物質、精神的ストレス含む)が出生児に与える影響、および環境汚染物質が小児に与える影響の解明を目標として行う、分子疫学及び分子生物学的研究も、継続的に重点化すべき基礎研究課題である。
- 個人の健康情報を「生涯カルテ」として管理し、健康維持・増進に役立てていくことを目標として、医療のIT化(特に情報授受・格納機能のマイクロ化とセキュリティの強化)は継続的に重点化して推進すべき基礎研究課題である。
- 医療と介護の連携強化(病院と診療所の連携強化、介護マネージャーによる医療ケアの支援強化、在宅医療の拡充など)の一環として、遠隔医療、テレメディシン・システムの開発・改良は、継続的に重点化して推進すべき基礎研究課題である。
- 要介護者の損なわれた機能を代替・支援する技術(脳内信号を直接的に感知して運動・感覚機能を補助する器具など)の開発は、継続的に重点化して推進すべき基礎研究課題である。

## ② 新たに取り組むべき課題

- 予知予防のための技術開発に関連して、新たに重点化すべき基礎研究課題は、ヒト由来の多様な培養細胞系統、人工組織(薬を代謝する肝臓や、尿を排泄する腎臓などの臓器に匹敵する機能を有するもの)の開発、およびヒトの疾病の適切なモデル動物の作成である。これらの研究ツールにより、遺伝-環境要因相互作用および遺伝子間相互作用の、高精度な実験的検証が可能となれば、従来の疫学(記述疫学や分析疫学)研究と相俟って因果関係の検証プロセスが大幅に迅速化し、かつ効率化する。このなかには、人工多能性幹細胞(iPS細胞)などの先駆的技術を、現状で推進されている治療応用のみならず、検証・診断ツールとして応用する試みも含まれる。こうした形での実験的検証を組み入れた“次世代”の疫学研究(‘トランスレーショナル疫学’とも呼ぶべき研究アプローチ)が、ヒトという不均一性の大きな研究対象を用いた多因子疾患(生活習慣病など)の成因解明、予防法開発には不可欠である。

## (3)人材育成・確保

- 先鋭化し専門化する、健康科学・医学の基盤研究に従事する研究者(特に医学部以外の理工薬学部出身者)が常勤職を得られ易いキャリアパスの構築が重要である。また、こうした研究者を目指す学生に対して、大学院学費の減免、経済的支援策も必要である。
- 融合・連携分野(後述)の知識を有する研究者の育成が必要である。
- 医療と介護のシームレスな連携という観点から、①現在の介護マネージャーの役割の拡充、および②高齢者の全身的合併症に(病態進行のなかで)適切に対応できる、現在の家庭医(かかりつけ医)とは質的に異なる‘高齢者医療総合医’の育成が必要であり、これらを支える社会制度の導入が不可避になると想定される。医療の進歩に伴う、診療分野の専門化・細分化の結果として、一人の患者の病態進行に際し、対応する医療ケアに様々な“すきま”が生じている。たとえば、糖尿病患者が末期腎不全状態に近づいた場合、食事指導において、カロリー制限から高カロリー摂取への転換が徐々に要求される。しかし、この過程で、糖尿病専門医から腎臓専門医へと引き継がれる場合、患者は、突然、180度異なる食事指導を受ける印象を持つことが少なくない。従って、両専門性を併せ持つ“総合医”の育成が求められる。
- 高齢者の‘こころ’の健康を維持していくうえで、心理カウンセラー等の支援者の育成・確保が重要である。

## (4)融合・連携の必要性(融合・連携すべき分野・領域、システム化等)

- 化学物質やナノ物質の健康影響を考える際、医学・生物学的知識のみならず、物理・化学的知識も必要であり、両分野の連携が重要である。さらに、住まい・都市構造と健康との関わりを考える際、建築学・都市工学の知識も必要となる。

- 高齢化においては「いかに生きるか」が重要な課題となり、体の健康を維持・推進する‘技術’の開発と、心の健康を維持・推進する‘社会システム(心理的支援や高齢者の人材活用制度の工夫を含む)’の確立とがバランス良く進められねばならない。そのために、保健医療分野と人文科学・行動科学分野との連携が必要である。

#### (5) 改革や導入が必要な社会システム・制度・マネジメント等

個人の健康情報を「生涯カルテ」として管理していくうえでの倫理的指針が、国全体で定められねばならない。そのうえで「生涯カルテ」が‘社会システム’として導入され、倫理的指針が遵守されるよう監視していく必要がある。

#### (6) 科学技術政策と他の政策との関連(政策連携等)

- 介護マネージャー、心理カウンセラーの育成・確保や‘高齢者医療総合医’の育成、遠隔医療、テレメディシン・システムの普及に関しては、保健医療政策との関わりが深い。
- 環境問題を取り扱ううえで、国の環境政策との関わりも深い。

#### (7) 産業・ビジネス・雇用の創出、科学技術と社会目標とのギャップ・橋渡し

- 介護や健康増進は、我が国において大きなビジネスとなり、すでに相当な雇用を創出しているが、それに関連した新たな技術の開発、サービスの提供は、今後、さらに「産業」として発展する可能性が高い。
- 健康維持・増進の「鍵」を握る‘トランスレーショナル疫学’研究で整備されるバイオリソースは、創薬・診断機器の開発において(諸外国に対する)我が国の強力な武器となり、関連産業を牽引していく大きなポテンシャルを有する。

#### (8) 人々の価値観やライフスタイルの変化、社会受容等

- ‘ヒトは、いずれ必ず死ぬ’ことを前提とし、社会的公正さを考慮して保健医療対策を講じていく必要がある。国全体として「予知予防」路線をどこまで積極的に推進するか、そこから脱落した人(たとえば高リスク者であるにも関わらず、喫煙習慣が修正できなかった人など)に、公的健康保険の受給をどうするか(下記の、医療資源の適正配分の観点を含む)、などについて社会科学的、医療経済的な検討も必要となる。
- 医療資源の適正配分の観点から、個々人の経済的負担増も含めた抜本的な社会制度の改革、健康・医療に対する国民の意識変化(健康は医療によって守られるものでなく、自ら獲得するための努力を要するものであるという意識)が不可避となる。
- 健康維持・増進を考えるに際して、‘病気’から‘健康障害’へ、‘毒性の有無’から‘攪乱(かくらん)の度合’へ、の視点の変換が必要である。

#### (9) 国際的視点(国際協調、国際競争、世界の一員としての視点、東アジアの視点等)

- ヒトの疾病・健康を対象としたバイオリソースの整備が欧米諸国、アジアの国々で精力的に推進されており、国際協調、国際競争という点で注目を集めている。
- 大陸からの大気汚染物質や黄砂の飛来に代表される通り、環境汚染は広域化、越境化している。これらの問題の解決には、東アジアを中心とした国際協調が重要である。また、地球温暖化の健康影響等を研究する場合、全世界的な連携が必要となる。

## 【参考文献】

- [1] 国立社会保障・人口問題研究所 人口統計資料集 2010年版.  
<http://www.ipss.go.jp/syoushika/tohkei/Popular/Popular2010.asp?chap=0>
- [2] 内閣府 共生社会政策統括官 高齢社会対策 高齢社会白書 平成14年版.  
<http://www8.cao.go.jp/kourei/whitepaper/w-2002/>
- [3] 国連「2008年改訂国連推計」
- [4] 厚生労働省大臣官房統計情報部人口動態・保健統計課「人口動態統計」
- [5] Ageing in Society (Third Ed.) Eds. Bond J, Pearce SM, Dittmann-Kohli F, Westerhof G. SAGE Publications Ltd. 2007.
- [6] 世界の水産物消費.  
[http://www.nissui.co.jp/academy/data/02/data\\_vol02.pdf](http://www.nissui.co.jp/academy/data/02/data_vol02.pdf)
- [7] 内閣府 共生社会政策統括官 食育推進.  
<http://www8.cao.go.jp/syokuiku/index.html>
- [8] 第15次国民生活審議会 新世代生活展望研究会報告 第2章 少子・高齢化に適合した社会システムへの移行  
[http://wp.cao.go.jp/zenbun/kokuseishin/spc15/houkoku\\_a/spc15-houkoku\\_a-contents.html](http://wp.cao.go.jp/zenbun/kokuseishin/spc15/houkoku_a/spc15-houkoku_a-contents.html)
- [9] 首相官邸 高度情報通信ネットワーク社会推進戦略本部 IT新改革戦略(平成18年1月)  
<http://www.kantei.go.jp/jp/singi/it2/kettei/060119honbun.pdf>
- [10] 環境省 子供の健康と環境に関する全国調査.  
<http://www.env.go.jp/chemi/ceh/index.html>
- [11] 総務省 遠隔医療の推進方策に関する懇談会.  
[http://www.soumu.go.jp/main\\_sosiki/joho\\_tsusin/policyreports/chousa/telemedicine/index.html](http://www.soumu.go.jp/main_sosiki/joho_tsusin/policyreports/chousa/telemedicine/index.html)
- [12] 高齢者のこころのケア. 総合ケア13巻4号. 医歯薬出版. 2003.
- [13] ケミカルリスクフォーラム. 「ヒト健康影響評価における不確実性係数の考え方(亜慢性・慢性毒性を例にして)」  
<http://chemrisk.org/pdf/ronbun.pdf>
- [14] 国立環境研究所「開発途上国の環境問題」  
<http://www.nies.go.jp/nieskids/main2/tojou.html>

# 健康・高齢社会の成功モデルとしての日本

## 少子高齢化時代の健康維持・増進

生涯カルテに基づき、“テーラーメイド”の、心と体の健康管理を行う。

### 継続重点研究課題

生活習慣病の発症・進展の高精度な予測技術の開発  
生活習慣改善と同等な効果をもたらす健康食品等の開発  
健康障害再発予防のための安価・簡便な診断法と効果的な治療法の開発  
要介護者に対するQOL向上技術の開発

### 新規重点研究課題

生後早期からの、健康に不利益な環境要因の同定

### 目的型の基礎研究

トランスレーショナル疫学研究を推進するためのバイオリソース整備  
生涯カルテを実用化するための医療のIT化推進  
遠隔医療・テレメディシンの開発・改良  
要介護者の損傷機能を代替・支援する技術の開発

### 新たな基礎研究

ヒト由来の多様な培養細胞系統、人工組織の開発: ヒトの疾病の適切な(検証評価のための)モデル動物の作成

### 政策間連携

科学技術/保健医療/環境

### 人材育成策

健康科学・医学の基礎研究に従事する研究者のキャリアパス確立  
融合分野の知識を有する研究者育成  
医療と介護のシームレスな連携の担い手育成  
こころの健康の支援者育成

### 改革 or 導入が必要な社会システム・概念

生涯カルテ導入に関わる社会受容と、倫理指針の遵守を監視するシステムの導入  
医療経済学的視点の確立と浸透

### 国際競争・国際協調

ヒトの健康を対象としたバイオリソース整備に関する国際協調と知財戦略  
環境問題に関する国際協調

## 健康長寿社会を支える世界最高水準の医療環境

リーダー 東京医科歯科大学 川渕 孝一  
医療法人社団ゆうあい会 片山 敦  
中外製薬株式会社 菊池 満  
大阪大学 田倉 智之  
グラクソスミスクライン株式会社 中村 景子  
医療法人社団慈恵医会 渡辺 貞雄

### 1. 将来社会の姿

#### (1) 大きな鍵となる事項

日常生活に組み込まれた安心医療空間と革新的医薬品・治療デバイスを生み出す国際競技場の融合

#### (2) 約 30 年後(2040 年頃)の将来の姿

2040 年の日本は、総人口 105,695 万人中 36.5%の高齢者(65 歳以上)を抱えている。GDP の対世界シェアは 4%まで縮小しているにもかかわらず、男女とも「平均余命世界一の座」はずっと他国に譲ったことが無く、国民の生活満足度は非常に高い。特に健康寿命の長さは世界でも突出しており、日本の国民健康維持システムは、国民皆保険制度と並んで世界に誇る仕組みとして成熟している。具体的には誕生と同時に国民全員に支給される 1 枚の健康保障カード(仮称)で生涯に亘って健康資産が管理され、いつでも世界最高の医療サービスを受けることが出来る健康資源大国になっている。

世界最高質の健康資源をビジネスチャンスと捉えた医療関連産業の投資が世界中から集まるようになってきている。特に医薬品産業の研究開発投資は全産業中最大の成長を見せ、約 30 年前に海外企業の研究所閉鎖が相次いだことなど“うそ”のように、各企業は競って主要大学内に連携研究拠点を構えている。日本はアジアで最大の医薬品研究者の集積地かつアジアにおけるワクチンを始めとする先進治療医薬品の最大輸出国であり、日本初のユニークな医薬品は世界で新たに発売される全医薬品数の最大シェアを誇っている。

また、システム・バイオロジーや P4-medicine(predictive, personalized, preventive, participatory)を相互に整合性を持たせてアプローチを行う医療)の概念に基づいて整備された医療制度や診療環境を背景にしつつ、幹細胞ニッチ(幹細胞集団の確立を制御する特殊な解剖学的部位)を補う技術や細胞の誘導・分化に係わる因子の制御技術の成熟化などにより、個別化医療を支える第 2 世代の生体内分化誘導型の治療デバイス群が急速に普及し、国民は個々人の生活様式と人生観に最も適した治療を、小さな経済的負担で迅速に享受できるようになりつつある。特に、細胞外マトリクス工学(細胞の外に存在する超分子構造体。通常、ECM と略され、細胞外基質、細胞間マトリ

ックスともいう)の進展やデバイス基材と分化促進因子の融合はめざましく、従来の人工臓器や再生医療の治療機序を根本的に変えたと言われている。なお、細胞外マトリクスの局所所在の解析発見は、一時の勢いは無いものの現在も続いており、係わる分野の新たな治験や上市は毎年継続的に行われている。

各種の革新的医療技術開発の結果、65歳以上人口が36%を占める高齢社会の中で糖尿病やCKD(Chronic kidney disease)、CVD(Cardiovascular disease)などの罹患率が上昇しているにもかかわらず、終末期を除くと未解決のアンメット・メディカル・ニーズは減少する傾向にあり、また国民1人あたりの年間医療費も25万円前後と約30年前の水準を維持している。一方、疾病予防的な用途のみならず老化防止など多少過剰とも言える臨床応用技術も進み、国民全体の疾病による社会負担の改善や軽減に対する満足度の向上と同時に、自由診療部分を含む総医療費の高騰に対する経済的弱者からの声も無視できない大きさになっている。行政もこうした声に押され、改めて臨床経済的な検証結果にもとづく公的給付の条件の見直しプランを策定し、国民に提案している。

さらに歯科医療分野においては、虫歯予防ワクチンや歯周病原菌を除去する洗口剤の開発により、虫歯や歯周病はほぼ根絶されるに至った。また、すでに歯を失ってしまった人には、歯科再生医療が選択できるようになり、失った歯を元の健康な状態の歯に戻せる唯一の方法として、海外からも注目を集めている。

A氏の1日は、今朝の健康状態を通知する目覚まし代わりにアナウンスから始まる。50歳を迎える働き盛りのA氏は、今年から自分の遺伝情報と蓄積されたパーソナルヘルスレコード(PHR)から推定された複数のがん腫や疾病の早期発症を検知する早期疾病探索プログラムに加入しており、目覚まし代わりにアナウンスもそのサービスの1つである。先月は、半日のがんドックで10の細胞レベルの異常状態が見つかり、がん化の恐れがある3か所をマイクロ手術で除去してもらった。来月に受診予定のドックでは、今後数年以内に発症リスクの高まる2つのがんについて予防ワクチンを受けることになっている。昨夜は帰宅後に複数の検査項目の変動幅が大きいとのことで自宅の書斎に備えられているB病院と結ばれたバーチャル診察室の呼び出しを受け、担当のC医師による三次元遠隔画像診察を受けた。いわゆる生活習慣病の指導を受けたので、今日の宴会はキャンセルすることにした。現在C医師の処方で服用中の薬は2種類だが、薬は全てワンドーズパッケージで渡され、服薬を忘れるとパッケージからの信号で携帯電話から催促が来るので忘れることはない。

B病院は基本医療圏毎に存在する典型的な地域中核型の病院である。B病院に外来設備はなく早期疾病探索プログラムで契約している各家庭に設置したバーチャル診察室がその機能を担っている。患者の保有するPHRには、健康診断履歴や治療履歴等が全て記録されているのでそうした情報を基にした地域住民の疾病監視事業は病院の大きな業務の1つになっている。そのため、全国の病院にとって国のデータベース機関であるPHRセンターは不可欠な存在とされる。病院での入院治療の形態も、早期に疾病が発見されているため、分子イメージングを活用したマイクロ手術など浸襲の少ない技法が発達している。同一医療圏内では複数のリハビリや看護や介護を専門とする施設も存在し、PHRを基に各施設が連携した切れ目のないサービスを提供しており、地域住

民の生涯健康が確保される仕組みとなっている。

製薬企業の D 社は、日本の製薬トップ企業であり、バイオ技術を活用した遺伝子治療と再生医療を強みとしている。そのためか D 社はいつも我が国における就職したい企業番付のトップにランクインされる。2010 年以降の抗体医薬品や分子標的医薬品といったバイオ医薬品開花期の中で、日本企業は欧米企業の後塵を拝していたが、第 2 世代の抗体医薬品や核酸医薬品などの技術改良期において徐々にモノづくりの強みを発揮して重要特許を獲得した結果、各種の次世代バイオ医薬品開発に成功し世界的なバイオ医薬品製造拠点となっている。こうした日本の創薬基盤の魅力から、世界の大手企業は日本企業と技術提携したり大学に連携研究拠点を設立したりと、2030 年代後半になって日本市場への進出がブームとなってきた。遺伝子治療や再生医療を手掛けるようになった製薬企業は、単純に医薬品を製造して医療の現場に届けるというビジネスモデルから治療と医薬との融合に対応した医療技術開発企業という色彩が強くなっている。医薬品のコンプライアンスやトレーサビリティについても製薬企業のビジネスサポート領域は広がっており、個々の患者に対する服薬コンプライアンス指導プログラムも実用段階に入っている。

この他、E 社は人工腎臓を中心にビジネス展開をしていたが医療費抑制政策の拡大や価格競争の激化を理由に、30 年前に分子標的薬を有する中堅製薬会社と分化誘導因子の特許を持つベンチャーを買収して新たな治療機器事業を立ち上げた。現在は、売り上げが医療機器業界のなかで世界第 9 位ながら、利益率は 3 年間連続業界第 1 位と市場で大きなプレゼンスを示すグローバル企業に成長している。この E 社の成長戦略の特徴として、個別化医療の特性に裏付けられた販売手法の先見性が挙げられ、標準レベルの治療結果が想定期間内で確認されて初めて請求をするという契約方法は、“E 販式”と呼ばれ医療制度に大きな影響を与えている。

ちなみに、個別化医療の推進は、費用対効果が悪く医療システム全体のパフォーマンスを低下させるという意見も過去において多くみられたが、治療技術が生体本来の修復再生能力のレベルに近づくことで、大きな社会経済的な成果を創出することが証明されつつある。ただし、治療技術単体ではその効果は小さく、行動経済学などの理論を導入した疾病管理プログラムや医療保険制度、地域診療連携など、新たな医療システムと先端的な治療デバイスなどが両輪となることで、はじめて具体的かつ持続的に効果を上げることが理解され始めている。実際、日本と同様に高齢化が急速に進み、また経済基調が伸び悩む韓国や台湾とは、生体内分化誘導型などの治療デバイスの輸出に止まらず、診療ガイドラインを含む医療システム自体の輸出の話が政府レベルでも進んでおり、アジア圏で医療システムを基盤とした新たな経済および生活の国際共存圏の創成が現実のものになりつつある。

### (3) 約 15 年後(2025 年頃)の姿

総人口に対する 65 歳以上人口比率は 30.5%となり、2010 年ころから地域単位で始まった高齢者を標準とする社会システム実験の成果が広域に普及している。世界的な新興国の経済成長に支えられて日本の財政赤字は解消されたが、経済規模で見ると 2010 年に GDP の規模で中国に抜かれた我が国は、1~2 年のうちにインドにも追い抜かれて世界 4 位になると予想されている。

2010 年時点で創薬の国際競技場といえる国・地域は、FDA のある米国と EMEA のある欧州のみで、日本は新薬創出実績では世界第 3 であったものの、ドラッグ・デバイスラグ問題やワクチンギャップ問題を抱え、PMDA の影響も国内に限定されている中で、アジア諸国の治験基盤整備の追い上げを受け、アジアにおける創薬の国際競技場の覇権争いの岐路に立っていた。それが 2010 年の政権交代後に改めて政府の肝いりで策定された国家の成長戦略の中で、各種政策の見直しを行うとともにアジアにおける創薬の国際競技場になることを宣言して以来、政産学官を挙げた成長戦略への取り組みにより、探索的早期臨床試験、POC センター、健康情報統合データベースといった、創薬に必要な基盤整備が急速に進む。中国、韓国といった成長著しい両国と密接な連携を確保しつつ、名実ともにアジアを代表する創薬イノベーションセンターとしての機能を持つに至り、最近数年の世界で発売された新薬の 20% が日本発という実績を誇っている。

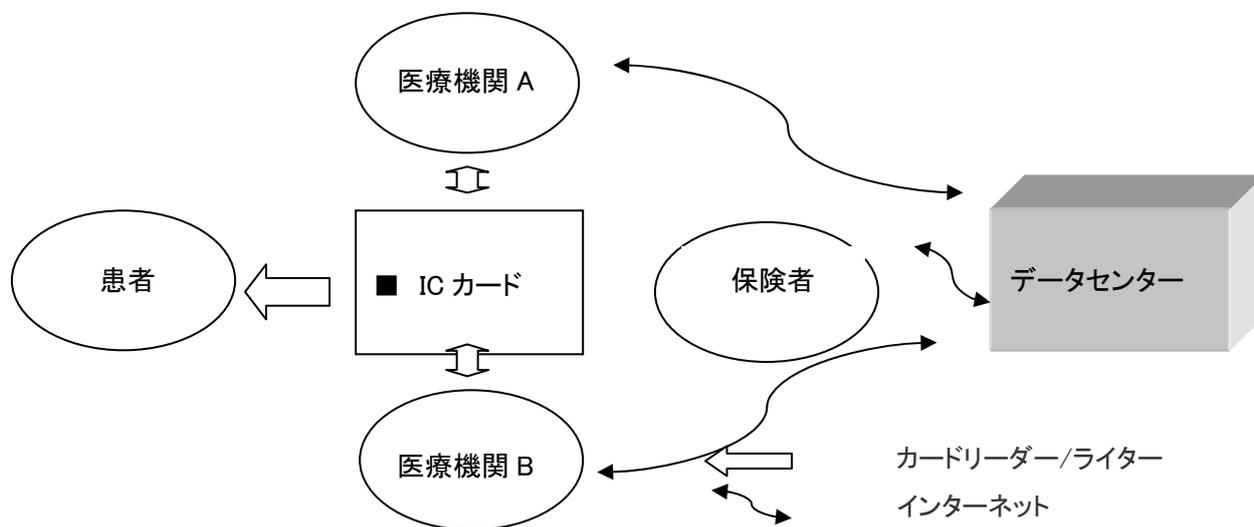
医療機器分野では、日本が持つ高度な工作機械開発技術を応用した製品が、世界市場でシェアを伸ばしている。また、歯科材料分野では、日本のナノテクノロジー技術を活用した製品が登場している。虫歯は、一度治療した歯が再発（二次う蝕）することが多く、同じ歯の治療を繰り返すことが大きな問題となっていた。この日本発の詰め物や接着剤は、ナノ材料を使用しているため、歯との隙間を極限までなくす効果がある。そして、口腔内の細菌が分泌する酸に触れるとカルシウムイオンとリン酸イオンを放出して、酸が歯を溶かすのを防止するのである。この詰め物や接着剤は、そのすぐれた機能や使いやすさにより、今や世界標準となりつつある。

一方、高齢者を標準とする社会システム実験が、日本全国数十か所の自治体で行われている。そのテーマは、医療住宅、在宅健康診断環境、住宅埋め込みセンサー、健康情報総合管理カード、など高齢者標準社会を設計するための多様な事業が数年計画で順次検証されつつあり、一部は全国的試行に至っている。最も実用段階に近づいているのは健康情報総合管理カードである。2010 年より普及が本格化したレセプトオンライン化による情報と特定健診・保健指導情報からなる臨床情報データベース事業は、その後、外科系学会が中心となって進めた診療情報データベースなど関連するデータベースとの統合が進む。その結果、住民基本台帳カードを発展させた保険証機能も併せ持つ健康情報総合管理カードが活用され、個人の健康履歴を一括で閲覧することが可能となり、複数の病院や診療所を受診しても検査や薬が重複するムダは無くなって効率的医療が実現している(図表 1、2)。

図表 1 健康情報総合管理カードのイメージ(医療機関には調剤薬局も含む)

情報区分	目的	記録内容	アクセス権	記録媒体		
				ICチップ	個別医療機関	データセンター
1	患者用	社会保険番号・指導履歴・次回予約・投薬履歴・予防歴	患者・個別医療機関・他の医療機関・保険者	○	○	○
2	医療機関共用	既往症・現病名・薬剤アレルギー・診療方針・予防歴	個別医療機関・他の医療機関・保険者		○	○
3	個別医療機関用	(現在の)診療録	個別医療機関・保険者		○	
4	保険者用	診療報酬請求書	保険者			○

図表 2 データの流れ



他方、十数年前の 2010 年頃から始まった分子標的薬の発売ラッシュはその後も継続し、昨今では開発手法の工夫も花開いて医薬品と治療マーカーの一体開発の成果が一般化してきており、ほとんどの新薬は医薬品特異的なバイオマーカーに対する診断薬と同時に発売されている。バイオマーカーを活用した医薬品の使用は個別化医療として開業医にまで浸透している。こうした技術

普及の背景は、多彩なバイオ医薬品の品揃えが進んだことに加え、かつては数万円もしたバイオマーカーを測定する遺伝子チップが現在は数十円で手に入るという技術革新の成果である。バイオマーカーの発見と解析技術の進歩は、分子イメージング技術等の進歩とも相まって、副作用発生防止への貢献は勿論のこと、革新的医薬品の開発確率の向上に大きく貢献している。さらに近年実用化に入って発展著しいのが治療ワクチンである。2010年頃まではワクチンといえば感染症の予防手段であり、がん予防への適用がようやく実用化された段階だったが、その後、がんや自己免疫疾患に対する治療ワクチンの研究開発が進み、手術、化学療法、放射線療法と並ぶ第4の治療方法としての地位を確立している。

## 2. 目標とする将来への到達の道筋

### (1) 重点的に取り組むべき研究開発課題

#### ① 継続して重点化すべき課題

臨床開発インフラ整備は、現在も継続中であるが、特に重点化すべき課題は、「探索的早期ヒト臨床試験のための技術開発」である。医薬品の開発では、動物実験からヒトへの投与の結果が開発の非常に重要なマイルストーンになる。この部分は、日本が高度な技術を保有しているにもかかわらずインフラが整っておらず、周回遅れに甘んじている。そのため、大手製薬企業も海外での臨床試験を余儀なくされ、いわゆる“産業の空洞化”を招いている。我が国でも安全性を高めた上で、早期にヒト臨床試験ができれば、日本でコンセプト証明を行った医薬品を大規模に世界で開発することで、より多くの世界的医薬品の開発が可能になると同時に産業の活性化にもつながる。

診療情報の電子化と各種データベースの構築については、現在、各省各研究者が個別独立的に作業を進めている状況にあるが、2010年時点では、カルテの移動が難しく、個人の診察・治療歴すらまとまったデータの蓄積がされておらず、医療機関が変われば同じ検査、診察、治療、薬剤投与が行われるという無駄があり、過去の治療歴全体を参照した上での正確な診療もできない。保険者が変わった場合の情報移動も困難である。遅くとも数年以内には診察・治療歴のみならず、ワクチン接種や検診などの予防や、薬剤投与、個人の遺伝子情報、さらには、より個人に適応した医薬品開発の治験への参加履歴などのデータを統合した、大規模データベースを構築すべきである。その結果、疾病予防、健康増進、健康管理の基盤が整い、医療機関の相互の利用、大学などの研究機関、企業などの二次利用も可能となるなど、大きな社会的効果が期待できる。

他方、治療デバイスの分野では、継続して重点的に取り組むべき課題には、「高い機能性を有する生体材料やその加工技術の開発」などが挙げられる。

#### ② 新たに重点化すべき課題

研究開発資金の多様化と絶対額の増加が必要である。初期の研究開発に対する資金源は、国からの研究開発資金の他に、企業、ベンチャーキャピタルなどがあるが、先に述べたような科学技術の繁栄のサイクルの各段階での「見える化」が進めば、多様でかつ大量の資金が研究開発投資に流れると考えられる。

しかし、現在の日本の医療は、国民皆保険制度のもと、技術評価と保険導入が一体となった仕組みで運用されているため、ドラッグ・デバイスラグやワクチンギャップ等の問題が発生している。特に先端的な臨床研究の成果に技術評価や保険導入が追いつけない状況から、新たな費用負担による技術成果普及のしくみを求める声が大きくなっている。医薬品・ワクチンなどの基礎研究の成果、及び健康データなどの科学技術の成果の市場化を考える場合には、実用化された後、どの財源(社会保険、民間保険、自費など)で支払うのかという議論を同時に進めるべきである。費用負担の仕組みの構築や公的保険制度のカバーの範囲、財源などを決めることが求められる。費用の観点からは、バイオ医薬品の低コスト生産を可能とする生産技術革新のための研究開発投資についても重点化し、産学官の連携によって早期実現を図る必要がある。

稀少・難病対策も重点化すべき課題である。今までは、稀少・難病の医薬品は、対象患者が限られているために、市場性が見えず、研究開発が進まなかった。しかしながら、今後は、個人に対応する医薬品・ワクチンの開発が進み、対象患者が少なく、細分化された市場でのビジネスモデルが標準になると予測される。となると、むしろ、今まで手を付けてこなかったが、すでに原因が分かっている病気に関しては、飛躍的に研究開発が進む可能性がある。

他方、新たなコンセプトに基づいた治療デバイスとして一層の健康改善が期待される分野には、循環器、消化器、筋骨格、感覚器などの領域が挙げられる。特定の疾病機序を限局的に考えるならば、従来型の薬物療法や人工臓器代替でも一定の成果が期待される。しかし、生体システム全体との調和や持続的な臨床効果を目指すには、生体が本来有する機能修復および機能維持の能力を最大限活用できる、細胞の導入を行わない(cell free 型)の体内再生医療を基本概念とした治療デバイスが臨床現場で果たす役割は大きい。特に、費用対効果などの臨床経済や労働生産性などの点で、個別化医療と根治療法を実現する意義は高いと言える。

従来の人工臓器や再生医療などの研究課題は、体外における組織(臓器)再生とその円滑な移植が一つ理想とされている面もあるが、オルガノイド(三次元複合臓器構造体)をはじめとして関わるテーマの技術的なハードルは依然高いものと推察される。そこに至る過渡期の製品創成や治療の選択肢を拡げる意味から、生体本来が持つ修復機構にフィードバックすることで、生体内をバイオリアクターとしてとらえ、新たな組織を生体内で再構築することは意義があると考えられる。従って、新たに取り組む課題として、「遺伝子発現や制御因子の最適な条件を時間的、空間的に再現するような、徐放もしくはデリバリーシステムと材料設計・微細加工技術により幹細胞ニッチを再現するデバイスの開発」などが想定される。

## (2) 重点的に取り組むべき基礎研究課題

### ① 目標を明確にして進める基礎研究課題

診療の第一線で個別化医療を実践するためには、個人の遺伝子情報を必要に応じて短時間で解析できる超高速遺伝子解析機器の開発が必要である。一回の受診待ち時間内で治療方針を決定するためには、30分程度の短時間で簡便に主要遺伝子の多型解析等を完了する必要がある。遺伝子の多型解析で得られたデータは、疫学情報や蓄積された副作用情報を含む治療情報と素

早く突合してその差異を解析することで、当該患者の治療方針や最適な薬物治療の決定を行うことで有用性を発揮することから、膨大な中央管理されたデータベースと診療現場で得た情報とのリアルタイムの超高速突合環境が完成している必要がある。

探索的早期ヒト臨床試験のための分子イメージング技術のための専用の PET 開発に向けて、機器やソフトの研究に加え、対象薬物の最適標識化技術の研究が欠かせない。標識化技術は、放射性物資や蛍光物質を始めとする標識体の研究に加えて、抗体や蛋白医薬のような高分子のバイオ医薬品を対象とした場合の標識化技術の研究が特に急がれる。こうした機器や技術の研究は、大学や国立研究機関や企業が一体となったコンソーシアム方式によって一気に実用化への道筋を実現する必要がある。

他方、治療デバイスについては「胚発生や、炎症・再生・修復の過程でおこる遺伝子発現や制御因子の動態などの現象を応用」するための基礎研究を継続的に推進していくことが肝要となる。特に、「細胞外マトリックス・タンパク質およびその遺伝子の探索やニッチを模倣する足場となる細胞外マトリックス工学の発展」などについては、新たに研究を着手しなければならない課題も残されている。この他、システム・バイオロジー (P4-medicine) に基づいた新たな医療のマネジメントシステムの構築に向けて、行動科学や経済学の理論を導入した情報技術 (IT) 系のプログラムの開発も必要となる。

## ②新たに取り組むべき課題

iPS などヒト幹細胞を利用した各種臓器機能の再生研究は、再生医療の実現に直結する重要な研究課題である。ヒト幹細胞を使用してヒトの体内で目的とする機能を再現させることが究極の目標であるが、その過程では、異種動物の宿主を用いて再生組織を創製する方法や、生体を使用しない試験管内培養による方法など多様な再生組織の作成手法に加え、再生組織の安全性評価に関する研究や、ターゲットとする母体に再生細胞や再生組織を戻した時の免疫など各種生体機能のコントロール方法等、未知の課題が山積している。また、現在注目されている iPS 細胞だけでなく各種幹細胞を用いた従来からの研究や、新規の細胞分化誘導に関する研究などについても更に幅広く研究し、世界標準の各種規格設定を見据えた新たな方向性を模索する必要がある。

がんワクチン開発に関係する樹状細胞や修飾がん細胞などに関する研究や、内在性抗原に対する感作の理論的解明などの研究についても力を入れる必要がある。

## (3)人材育成・確保(どのような人材が、どの部分に必要なのか)

大規模情報解析技術の専門家が必要である。この場合、単なる情報専門家でなく、医療の特性がわかる ICT 技術者でなければならない。ICT 技術者に医師の資格を求めるのはハードルが高いため、医師の中から ICT 技術者を養成することが近道である。

社会経済と科学技術の両面をつなぐコミュニケーションができる人材育成も急務である。ヘルステクノロジーアセスメント (HTA) に必要な医療経済の専門人材として、単に医療に詳しい経済学者、あるいは経済センスのある臨床医師という範疇で育成される専門家でなく、ワクチンの疫学的評価

や医薬品を含む治療アウトカムの評価技術を有する専門家が求められている。そのためには大学や大学院教育を含む専門的育成課程を設立した上で、世界の研究者との交流や共同研究を通じて一定の数の専門人材を確保する必要がある。

将来においては科学技術標準言語として各分野に英語を採用することを視野に入れるため、世界標準の作成過程や、医薬品の承認審査基準をアジアで共有することを想定して英語力を育成するために、我が国の英語教育の過程をゼロから見直す必要がある。

他方、治療デバイスのコンセプトの実現には、研究開発の出口を意識しつつ、組織や業種などの壁を越えて技術・人材を機動的に結集させる「オープン・イノベーション」的な環境が必要であり、そのような環境作りとともにそのフィールドで能力を発揮できる人材も必要となる。我が国における医学・薬学・化学工学・生体工学・情報工学などの研究者は、その数については国際的にみても優位性があると考えられる。一方で、そのような環境の受け皿が十分でないためか、オープン・イノベーション指向の研究者の層の厚さは十分ではないと思われる。具体的には、技術に明るく研究の手法に長けているのみならず、複数の専門領域に跨る知識を有する人材や国際マーケットや経済原理などに関心を持ち、出口のイメージを描ける研究者の育成が急務と言える。特に、評価学（学問領域としても十分でないが）を理解し目利き能力も有する、アントレプレナーのマインドを持つ人材の重層的な配置が望まれる。

#### (4) 融合・連携の必要性(融合・連携すべき分野・領域、システム化等)

統合的データベース構築のためには、ICT の活用が必至である。そして、個人情報については十分なセキュリティが確保するためのセキュリティ技術の開発が必要である。国レベルでの個人データ管理のための公共的な組織の活用とその監視機能が必要であろう。構築されたデータベースの活用範囲は、①予防と治療との因果関係に基づく疾病管理(Disease Management)、②予防医療のエビデンスの蓄積、③個人データに基づいた個別化医療、④医薬品・医療機器、ワクチンなどの研究開発にも使用される。また、医療情報の電子化が進み、大規模データベースを参照しつつ行うリモート診療や、遠隔操作によるロボット手術等の技術を確立するためには、居住施設を含む都市づくり技術や情報通信技術との融合が欠かせない。これらの範囲全てに関して技術の横断的連携が必要とされる。具体的には、参加するプレーヤーである①異業種企業、②自然科学系と社会・人文科学系専門大学、③厚生労働省と経済産業省、文部科学省、総務省、国土交通省など関係省庁間の協力に加え、産官学公共のそれぞれの特性を活かした連携が必要である。

歯科医療分野の連携については、医科と歯科との連携が必須である。近年、高齢者と口腔内環境や咀嚼との関係が注目され、口腔内の状態が全身の健康ひいてはライフスタイル全体に影響を及ぼすと言われている。訪問診療を行う医師と連携して、歯科医師が治療や口腔内環境改善の指導を行うことや、訪問看護師に口腔ケア教育を実施することなどが望まれる。また、感染症である虫歯を感染前から予防するのであれば、産婦人科と歯科との連携も必要である。出産前から歯科予防ケア・教育を行うことにより、感染を未然に防ぐことができる。

他方、次世代の治療デバイスの製品化には、研究開発と臨床応用において高度なマネジメント

が求められる。例えば、研究開発においては、裾の広い要素技術を治療の機序にそって一つの効能へ結実させていくための機能や環境の整備が必要となる。そのためには、研究開発の各プロセスにおいて想定目標とする臨床効果を推計し、かつ社会経済的な付加価値を評価するモデルや手法の発展が不可欠と言える。このような仕組みを導入することで、薬事承認制度などの各種レギュレーションの機能がより効率化され、デバイス・ギャップなどの改善とともに、新たな投資意欲が喚起されると考えられる。また、臨床応用においては、このような仕組みに加えて「受益者負担」の観点から医療保険財源や他の医療資源の消費方法を見直していくことも希求される。このような議論を行うことで、社会保障関連の財源の拡大とともに、保険料方式の診療報酬制度に対する補完機能の整備や支払い方式、さらには世代間の格差の解消の再考が促される。

#### (5) 改革や導入が必要な社会システム・制度・マネジメント等

医療政策は産業政策との関連性が非常に強いテーマである。本分野における政策連携の検討は、医療自体を我が国の成長戦略の中にどのように位置づけていくのか、という論点と同義と言える。診療ニーズの増加に伴う医療費の伸張を抑えることを目的とした治療技術の高度化(費用対効果の改善)がすなわち、医療産業の国際競争力の強化につながる訳である。それにより、新興国も巻き込みながら進むグローバル化の波に対して、国際分業体制の中で医療を中心に比較優位を確立することで、国際社会におけるフレキシブルな位置取りを可能にさせると考えられる。

また、医療の現場において遺伝子情報が一般的に活用される状況下では、個人情報管理システムの整備を欠かすことはできない。現在、社会保障カードの実現に向けて、住民基本台帳カードから各種の医療関連データベースにアクセスする方法などが検討されているが、データはバラバラに存在したままで利用価値も少ない。疫学研究が必要とするパーソナルヘルスレコード(PHR)は、個人の一生の健康情報がデータベース化されている必要があり、そうした際の個人情報管理の在り方についても早急に結論を出して、社会システムとして統合した健康情報データベースを構築する必要がある。

高度な医療や医薬品開発環境の充実にあたっては、医療法や薬事法等の関係法規の整備は大きな課題である。中でも急ぐ必要があるのは、探索的早期ヒト臨床試験を可能にする IND 制度(Investigational New Drug Applications)の導入である。医薬品の開発研究で、現在、国が関与を開始するのは承認申請を前提とした治験届からであるが、治験登録を行っていない臨床研究と治験との制度ギャップが大きく、臨床研究から治験へのデータ移行には問題がある。治験制度を緩和する方法もあるが、世界水準の開発競争を考えると好ましくなく、臨床研究に対して幅広く国に関与させることが可能で承認申請データとの一体化も図り易い IND 制度を採用することが望ましい。

医療法や健康保険法の観点からは、高齢者を標準とする社会を見据えた「高齢者標準社会基本法(仮称)」を制定した上で制度改革を進める必要がある。さらに、①住宅を医療提供の場とするための制度、②国民皆保険制度を維持しつつ“非スタンダード医療”に対する民間保険との混合診療を可能とする制度、③ワクチンを含む予防医療に関する総合的な提供制度等、多様な新たな

制度についても今後数年のうちに導入する必要がある。

#### (6) 科学技術政策と他の政策との関連(政策連携等)

科学技術は、①研究開発を通じて発明、発見されること、②社会で普及すること、③社会で評価・検証されること、の3つが循環して始めて、繁栄していくものである。このサイクルが順調に回ることにより、それぞれのプレーヤーが一定の利益を享受できる。そこでこれら3つの段階を「見える化」する政策が必要である。例えば、再生医療の基礎研究がどのような過程で開発され、市場に投入され、どのような費用負担(保険制度など)で誰に使われるのか。これらに関わるプレーヤー、法律・政策、資金について整理を行い、具体的に示すことが重要である。

そのためには、新しい医療技術がいち早く安全に使われることに対応するように薬事法、予防接種法、健康保険法などを整備しなければならない。また、我が国における将来の健康社会を国民や医療関係者全てに共有するために「高齢者標準社会基本法」(仮称)、「健康維持基本法」(仮称)などの理念を定めた法律の策定が望まれる。学校教育においても高齢者を標準とする社会の理解や医療について基本的に理解できる基礎教育を行う必要がある。その上で、必要な医療施設政策や住宅政策、通信政策が議論されるべきである。さらに、医療産業政策、人材育成プログラムなどが国際競争力を念頭に策定される必要がある。そうすると、我が国が研究開発の拠点となると同時に優秀な頭脳の流出阻止が実現できるであろう。

#### (7) 産業・ビジネス・雇用の創出、科学技術と社会目標とのギャップ・橋渡し

従来、医療分野はコストセンターという位置づけであったが、社会経済的なパフォーマンスの高い次世代の治療デバイスなどが一定規模以上に普及すると、労働生産性の拡大や雇用の吸収による経済効果が相対的に高まる可能性がある。つまり、高齢化に伴う社会負担の増加とそれを背景とした経済基調の低下という負のスパイラルに対して、新たな診療技術の登場により社会負担と経済基調の間の歯車を逆に回転させることも期待される。

また、医療産業を構成するビジネス要素は、①医療サービス本体機能の他に、②宿泊機能、③食事提供機能、④情報サービス機能、⑤医薬品を始めとする物販機能、など多様である。しかし、当該機能は要資格行為に加えて公定価格によって規制されている医療部分と複雑に組み合わされているため、それぞれの機能を専門とする他産業からの参入やノウハウの交流には一定の限界がある。こうした限界を打破するには“医療版出島”を創設するなど医療の産業化に向けた新たなビジネスチャンスや新雇用の創造が求められる。具体的には、医療施設、企業、大学、研究機関など、医療サービスの提供や医薬品・医療機器の研究開発に必須の組織が一定の連携体制をとる必要がある。臨床研究・医薬開発・アカデミック複合体あるいは医療クラスターが1か所に集積された新形態で、新たなプロジェクトに共同で取り組むことにより、研究開発活動の効率化につながる可能性がある。

そもそも先端医療は多分に専門性が高く外部からは見えにくい領域である。しかし、さらに本格的な高齢社会において最も恩恵を被るべき高齢者は、新たなことに対する学習や理解は不得手な人々である。確かにトランスレーショナルリサーチや、レギュラトリーサイエンス(規制科学)は、新規

の技術開発の際に必要な高い学術分野であるが、我が国におけるドラッグ・デバイスラグやワク  
チンギャップを早期に解消していくためにはその意義を積極的に可視化していく努力が求められる。  
そのためには、高齢者の持つ社会的ギャップを埋める能力を有する専門家の養成が望まれる。

#### (8) 人々の価値観やライフスタイルの変化、社会受容等

先進科学を一般国民に分かりやすく説明して身近な社会実験を行うことや、倫理的な面・最新  
技術への投資の意義、さらには予防・治療などの価値に見合った負担の在り方の検討など、社会  
全体の理解を得ることも必要である。それに加え、個人の価値観やライフスタイルの変化、社会受  
容等個別の事情を考慮することと共に、情報リテラシーを高め、個人の健康財産を自ら管理する意  
識を高めることが求められる。

しかしながら、医療の臨床現場が、現在のような患者と医療担当者の大きな情報ギャップを持っ  
たままでは最新医療はとて受け入れられない。そこで、高齢者を標準として安心・安全な最新医  
療が開発・提供される世界を国民的合意の下にスケジュール通り実現していくこと努力が求められ  
る。さらに健康教育として予防から治療までの一連の健康に関する事柄を初頭教育に計画的に導  
入し、国民の健康情報リテラシーを十分な水準に持っていく必要がある。

#### (9) 国際的視点(国際協調、国際競争、世界の一員としての視点、東アジアの視点、等)

我が国は、世界的な新薬や医療用具を創出してきた数少ない国の一つであり、かつアジアでは  
未だ豊富な審査ノウハウを保有している。こうした基盤を生かして、アジア各国における審査体制  
の整備協力や審査員の教育・育成等に積極的に係わるべきである。東アジアは、高齢化という視  
点で見ても我が国と共通点を有している。現在世界一の長寿国である日本は、欧米先進各国が経  
験したことのない高齢化速度で 2040 年には高齢化比率 36.5%の社会になっていくが、韓国も日  
本の後を追って我が国が経験した以上の速度で高齢化し、その後を中国がさらに大きなインパクト  
を持って高齢化していく構図となっている。従って、日中韓のトライアングルを核とした相互学習と  
社会実験の相互活用は、東アジアのみならず世界に輸出できる社会システムを生み出せる可能  
性を秘めている。そこで、3 国の政府を巻き込んだ各種規制や規格のハーモナイゼーション対応を  
進めてはどうか。

実際、インドや中国の人口推移から見て、世界の人口の過半はアジア地域に存在する時代とな  
る。アジアの巨大マーケットにおいて個別化医療や再生医療の導入・普及を行うためには、モンゴ  
リアンを始めとするアジア地域特有の遺伝子多型解析を欠かすことは出来ない。ビジネス化のイン  
パクトを考慮すると、アジア人自身の手でアジア人ゲノム解析プロジェクトを計画し実施していく必  
要がある。

一方、アジア基軸の考え方であっても、欧米の科学技術力発展や、科学技術自体のグローバル  
性を考えると科学技術標準言語としての英語の地位はゆるぎない。そこで国の審査基準も含めて  
英語の科学技術標準言語化を推し進める必要がある。

## (10)おわりに

「対 GDP 比医療費が先進国中最低」、「人口あたり医師数が G7 中最低」でありながら「平均寿命世界一」を達成し続けている日本の医療であるが、小児科や産婦人科を中心とした医師不足、医療訴訟の増加、経営が成り立たない医療機関の増加、医療者の疲弊など、暗い話題が多い昨今である。

しかし、アジアの後発自動車メーカーが「Kaizen」を重ねて世界一になったように、日本の医療もそのポテンシャルを考えれば充分世界の模範になり得るものである。超高齢化という面でも世界の最先端を行く国として、医療制度・医療供給体制に内在する 7 つの「ムダ」（「作り過ぎのムダ」、「手待ちのムダ」、「運搬のムダ」、「加工するもののムダ」、「在庫のムダ」、「動作のムダ」、「不良をつくるムダ」）を減らし、質/コスト/アクセシビリティ—いずれの点でも世界最高水準の医療体制をできるものとする。確かに“医療観光（メディカル・ツーリズム）”では後塵を拝したが、我が国の医療機関を世界最高水準の医療環境の“Show Room”に仕立て上げる努力が求められる。

### ・作り過ぎのムダ

医療機関の過当競争と、それによる収益の低下、従事者の疲弊。保険者と地方自治体、企業など異なる財源から重複する健康診断の補助。高額な高度医療機器をどの病院も持とうとするムダ。過剰な延命治療。

### ・手待ちのムダ

患者がいるのに医療側が忙しい。医療者が手隙なのに患者が他の医療機関に集中している。時間や曜日、季節による閑忙の差。一連の診療の中でスタッフの多寡による流れの中断。

### ・運搬のムダ

医療機関の偏在による受診アクセスの悪さ。いわゆる「名医」を求めて遠隔地での受診。「結果を聞くだけ」「薬をもらうだけ」の受診。不要不急の救急受診とその対応。

### ・加工そのもののムダ

正当な診療行為やありうべき転帰に対してのクレーム、医療訴訟の増加とそれによる医療側の負担増。同一疾患での診療や検査の重複。ドクターショッピング。正しい予防や受診を怠ることによる疾患の悪化。

### ・在庫のムダ

有資格者（特に女性）が働きやすい環境の不足とそれによる人材不足。人材斡旋/融通システムの未成熟。医療給付における固定的な施設、人員配置基準。

### ・動作のムダ

医療機関内、医療機関間での患者動線の悪さ。紹介、連携ネットワークの不備。

### ・不良をつくるムダ

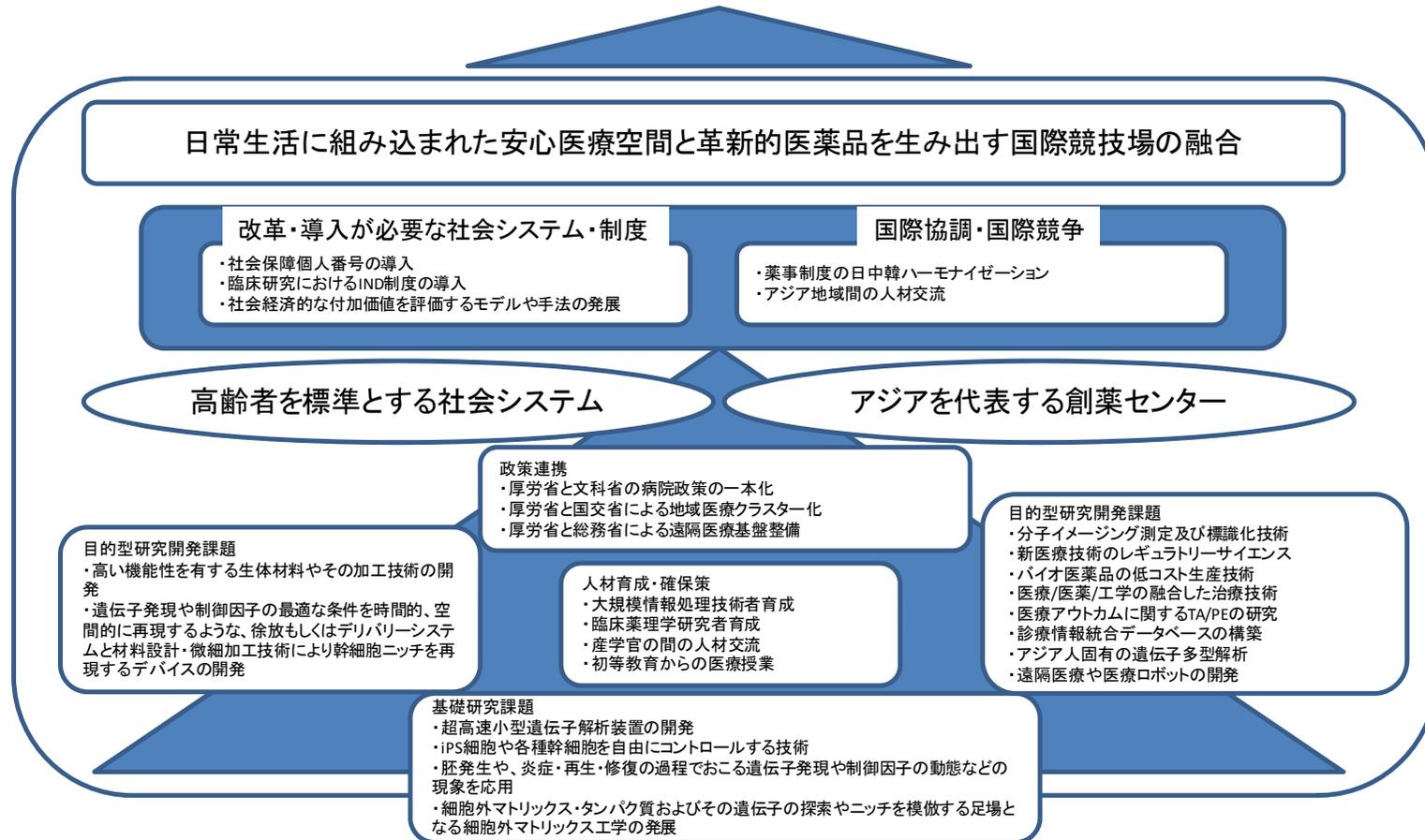
避け得る医療事故。医療者教育システムの不備。クレーム、訴訟の増加による失敗例の隠蔽とそれによる医療水準向上の阻害。

## 【参考資料】

- [1] 活力ある高齢社会に向けた研究会中間提言、東京大学政策ビジョン研究センター・産業競争力研究会(2010)
- [2] 医療の未来、博報堂(2010)
- [3] 昭和 58 年 1 月 31 日 全国保険・年金課長会議
- [4] 『日本医事新報』4321 号
- [5] 平成 18 年 7 月 28 日 厚生労働省医政局「医師の需給に関する検討会報告書」の公表について
- [6] 「トヨタ生産方式—脱規模の経営をめざして」大野耐一著
- [7] (社)日本小児科学会 こどもの救急 <http://kodomo-qq.jp/>
- [8] 片岡一則監修(2007)「医療ナノテクノロジー最先端医学とナノテックの融合」杏林図書
- [9] 吉江弘正、宮本泰和(2005)「再生歯科のテクニックとサイエンス」クインテッセンス出版
- [10] 北海道保健福祉部(2006)「要介護高齢者に対する摂食嚥下障害対策 実態調査報告書」
- [11] 週刊東洋経済 2010 年 1 月 23 日号「ここまで治る！先端医療」
- [12] 吉田伸夫(2009)「日本とナノエレクトロニクス」技術評論社
- [13] 藤田泰正(2008)「工作機械産業と企業経営—なぜ日本のマシニングセンタは強いのか」晃洋書房
- [14] 岡田彩子、田上順次他(2009)東京医科歯科大学大学院う蝕制御学分野  
研究論文「次亜塩素酸電解水の効果的なう蝕バイオフィルムへの浸透作用」  
「二種機能水の異なる経路からのう蝕予防コントロール」  
「う蝕予防に効果を及ぼす次亜塩素酸電解水の有効塩素濃度」  
東京医科歯科大学 21 世紀 COE プログラム「歯と骨の分子破壊と再構築のフロンティア」  
研究論文「電解水に含まれる有効塩素の上皮細胞(KB-Cells)増殖に及ぼす影響」  
東京医科歯科大学 21 世紀 COE プログラム「骨と歯の分子疾患科学の国際教育拠点—デント・メドミックスのインテリジェンスハブ—」
- [15] 厚生労働省ホームページ <http://www.mhlw.go.jp/>
- [16] 日本の将来推計人口、国立社会保障・人口問題研究所、2007 年
- [17] 平成 17 年度国民医療費の概況、厚生労働省、2005 年
- [18] 田倉智之、川淵孝一「再生医療の医療経済学」BIO INDUSTRY. Vol.26 No.7, pp.6-14. 2009.
- [19] 田倉智之、澤芳樹「臓器移植の発展に向けた今後の経済的なあり方」日本移植学会誌、Vol.44 No.1, pp.60-68. 2009.

# 健康・高齢社会の成功モデルとしての日本

## 健康長寿社会を支える世界最高水準の医療環境



## 格差フリーのための健康情報インフラ

リーダー 東京大学 小山 博史  
独立行政法人産業技術総合研究所 井野 秀一  
東京大学 甲斐 一郎  
東京大学 佐々木 敏  
日本 IBM 株式会社 佐藤 和喜  
京都大学 中山 健夫

### 1. 将来社会の姿

#### (1) 大きな鍵となる事項

「健康情報インフラ整備による内需拡大と健康立国の実現」

#### ① 健康管理の主役

- ・家庭での健康管理(個人から家族へ)
- ・地域での健康管理(国から地方自治体へ)

#### ② 健康管理の中心となる地域公共施設

- ・地域相談支援センター
- ・地域健康情報管理センター
- ・市民後見支援センター

#### ③ 健康管理の中心となる機器

- ・在宅健康情報家電(健康情報管理ユニット・電脳ベッド)
- ・高臨場感対面コミュニケーション機器
- ・感覚・認知障害系コミュニケーション支援機器

#### ④ 健康管理に必要な機能

- ・健康計測(在宅健康情報家電・健診情報・検診情報・医療情報など)
- ・相談(不妊・育児・うつ・認知症・介護・緩和医療・小児虐待・DV など)
- ・予約(相談センター・リハビリ・健診施設・医療施設など)
- ・予防(がん・脳動脈瘤・心筋梗塞など)
- ・予測(糖尿病・高血圧・高脂血症・高尿酸血症など)
- ・評価(政策評価・健康指標向上効果・経済効果・雇用効果など)
- ・情報保障(聴覚障害・視覚障害・知的障害など)

#### ⑤ 健康情報インフラへの公共投資と内需拡大

#### ⑥ 健康情報サービス産業・機器産業の育成

## (2) 約 30 年後(2040 年頃)の将来像

2040 年の日本。30 年前に行われた少子化対策への重点的公共投資により 2020 年までには人口置換水準が 2.2 まで回復した。また、この公共投資により整備された地域の保育所や幼稚園の増加は、女性の復職を促し、さらにこれらは間接的に女性の関連産業への雇用機会を拡大させる契機ともなった。小児人口の増加と女性の就業数の増加は、通勤手段の高速化やテレワークの普及により都心を中心とした核家族システムから物価が比較的安く、環境にも恵まれ、子育てしやすい地方中核都市(コンパクトシティ)を中心とした大家族制へと家族システムを回帰させることになった。これと共に、地方自治体の税収は増加し、住民の健康管理体制が整備され、「住みやすい街づくり」の 1 つとして健康格差是正の善し悪しが地方自治体の行政能力として地域住民に問われるようになっていた。

このため国は、全国の各地域社会の健康管理の質の向上と格差是正に必須となる信頼性の高い健康情報(形式知と暗黙知)をデータベース化し、提供する必要性に迫られた。これにより、健康管理について、幼年期(0~4 歳)、少年期(5~14 歳)、思春期・青年期(15~24 歳)、壮年期(25~44 歳)、中年期(45~65 歳)、熟年期(66 歳~79 歳)、長寿期(80 歳以上)の各世代別の「国民健康・予防ガイドライン(National Health & Prevention Guideline)」が国家プロジェクトとして整備された。この国民健康・予防ガイドラインは、各分野の全国の専門家約 2000 人がレビューボードとなり、国民生活機能調査データベース、がん登録などの各種の疾患別サーベイランス用データベース、予防接種登録データベース、臨床研究データベースなど複数の健康関連データベースから科学的根拠のあるデータと健康管理に重要な経験データ(主に体験や語り)をもとに 3 カ月毎に検討され、更新、提供される制度が確立し、学術組織の社会に果たすべき重要な役割の 1 つの例として市民に広く認知されていた。

さらに、この国民健康・予防ガイドラインの知識(形式知)は電子的利活用が可能な標準形式に変換され、社会における最も信頼性の高い健康知識ベース(National Health Knowledge & Data Base Japan)となり、診療支援情報システム、妊産婦支援情報システムや予防接種登録システム、健診・検診支援情報システム、電子カルテシステムや介護・福祉支援システム、在宅健康情報家電などの中のサービスアプリケーションの中に実装され、定期的に最新の知識に更新されていた。これにより、どこにいても質の高い妊産婦管理や乳幼児健診、がんワクチンも含めた予防接種、がん検診、脳動脈瘤検診、心臓病検診などの自動リマインダー機能や受診勧奨、健康教育、健診・検診実施確認、地域行政評価や臨床研究支援などで使用されるコンピュータ・アプリケーション内の電子化された知識として利用され、全国の健康管理の質を格差なく飛躍的に向上させる重要な社会インフラとなっていた。

また、経験や語りのような暗黙知は動画映像や Virtual Reality を用いた体験型学習装置で学習・訓練可能な社会教育システムとして完備され、健康教育だけでなく生涯教育や各種の技術資格取得の基盤システムとなっていた。もちろん、これらの健康情報インフラは、感覚系や認知系に障害をもつ人たちが困ることのないように、リアルタイムに必要な情報が的確に伝わる多様な感覚

情報変換機能やコミュニケーション支援機能を JIS(国内標準)や ISO(国際標準)に従って完備していた。

各家庭には家族の健康管理のために地方自治体から高品質の在宅健康情報管理ユニットや介護度や重症度に応じた在宅電脳ベッドが貸し出された。在宅健康情報管理ユニットでは臨場感 TV 会議システムを用いた健康相談や医療・介護相談が実施され、在宅電脳ベッドでは寝ている間に実施できる健診機能や急変時の主治医コールなどの機能が備えつけられていた。当然ながら、これらの健康機器は高機能で小型かつ信頼性が高く、世界市場の 80%を占める日本の主要な輸出産業として成長していた。また、安全保障と品質管理のためのバージョンアップが頻回に必要である健康機器専用の審査体制が新薬開発とは別に整備されていた。これにより日本の最先端のエレクトロニクスやナノテクノロジーを組み込んだ健康機器が世界市場に迅速に提供されるようになり、かつ市販後調査と国民への補償制度も確立されていた。

上記のような健康情報インフラでは 30 年前に始まった社会全体のユビキタスコンピューティングとスマートグリッド技術、セキュリティ技術としては量子暗号化技術などが応用され、実用化されていた。解析・情報化・知識化(特に予測)には量子コンピュータなどが用いられ、自然言語処理技術の発達により東南アジア諸国と協力して Asian Health Security Grid (AHSYG)として英語や中国語、韓国語など多言語化され東アジア圏の人々の健康管理や格差是正のための中心的情報インフラとなっていた。

### (3) 約 15 年後(2025 年頃)の将来像

15 年前、労働人口の減少に対し国は少子化対策と同時に 40~60 歳代の主たる突然死の原因となる「脳動脈瘤」や「心筋梗塞」と死亡率の高い「がん」に対する対策を強化した。

その一つとして官民一体となり安価で短時間でかつ高精度の全身検診が可能な全身用健診画像検査装置とその健診車を開発し、地方自治体でのがん検診と脳動脈瘤検診と心臓病検診を 45 歳の時点で全員受けることを原則義務づけた。同時に全国数か所で住民コホート研究が開始され、この結果をもとに発症リスクとそのバイオマーカーを選定し、5 年毎に疾病構造の変化に応じた改訂がなされた。2020 年にはそれに基づいた個人の状態に応じた予測アルゴリズムが開発され、各人の状態に最適な再検診時期や検診内容が個別化(テーラーメイド化)されることになった。

さらに、この情報は、食生活や運動など生活習慣に気をつけなければならない具体的な「予防処方箋」として在宅健康情報ユニットに転送・出力され、予防処方箋に基づいた健康状態や生活機能の測定が在宅健康情報ユニットを用いて定期的に行われ、健康相談員に健康相談できる社会システムが出来上がっていた。

未破裂脳動脈瘤や心臓の冠血管狭窄病変が見つかった人には安全性の非常に高い(合併症発生率 100 万人に 1 例程度)血管カテーテルなどのデバイスをもとにした治療法の確立が重点項目となり、世界に先んじた非常に安全性の高い新しい低侵襲予防治療法の臨床研究が行われ、臨床現場に普及していった。これにより働き盛りの 40~60 歳代の突然死の死亡者数は激減した。

積極的がん予防治療については、発がんのハイリスク群の抽出に必要なバイオマーカーが特定

され、ハイリスク群とされている方々のセキュリティレベルの非常に高いデータバンクが公共機関に設置され、がんの新しい予防法の開発や早期発見・早期治療法の臨床研究が急速に進歩した。さらに、10年間のコホート研究後、いくつかの新しいがん予防治療法に関する研究成果が発表され、その成果をもとに住民の意見分析や社会経済分析など総合的な判断の後、健康予防ガイドラインが作成され予防治療システムが確立した。

介護については地域介護ポイント制が導入され、地域の介護施設や医療施設などへの有償・無償ボランティアに対して相当のポイントが取得でき、自分が介護を受ける場合には、そのポイントを利用できる制度が導入された。これにより、給与だけでなく介護ポイントも貯まることで定年後の世代の介護ボランティア数が増加した。また、介護が必要となる認知症の方や精神神経疾患の方、障害者の方々が各種申請や法的手続きを行うことを支援する市民後見人制度が地方自治体の市民後見支援センターを中心に運営され、WHOの国際生活機能分類(ICF)にある活動と参加が格差なく行え、相互に助け合う健康格差フリーの代表的社会モデルを構成する中核制度の1つとなった。それと同時に、情報授受に困難が生じやすい視覚や聴覚に障害を持つ人々への医療情報サービスの体制も、超高齢社会におけるバリアフリー化の関連施策と共に整備が進んだ。

地域住民の食中毒や有害物質への曝露などの環境汚染、新興感染症発生、放射線被害、災害などの緊急健康被害の発生を監視する地理情報システム(GIS)を有する地域健康危機管理センターが都道府県に設置され、さらに、地域住民の生活機能を評価するためにWHOの国際生活機能分類などを基にした住民調査のための情報システムと予防接種登録システムが導入され地域住民の健康状態についての細かいデータが蓄積され解析されることで、健康危機発生時の住民の生命の安全やハイリスクグループへの予防医学による介入治療や健康政策立案の基礎データとして利活用されるようになっていた。

## 2. 目標とする将来への到達の道筋

### (1) 重点的に取り組むべき研究開発課題

#### ① 継続して重点化すべき課題

国は、国民の健康格差をなくすために大きく三つの課題を克服する必要がある。

一つ目は、自分や家族の健康状態をデータとして正確に把握することであり、二つ目は、健康に関する信頼性の高い情報や知識を普く国民が利活用(参照・相談・教育など)できる環境を整備することである。三つ目は、地域の自助・共助・公助システムとバリアフリー環境の構築である。これには特に、TV会議・相談機能を備えた健康情報管理ユニットの開発と一般家庭への普及、それらを利用できる高度なセキュリティ技術を完備した情報通信インフラの整備が望まれる。

先ず第一に個人や家族の健康状態の把握が重要である。健康状態についてWHOの国際生活機能分類の生活機能モデルでは、今までの「心身機能・身体構造」の評価のみならず「活動」や「参加」といった人間の日常生活機能や社会的機能を中心とした健康を定義し、それに関連した「環境因子」と「個人因子」を定義し、構造化している。

これをもとに課題を整理すると、心身機能・身体構造の工学技術を用いた測定を可能とするため

には、ナノテクノロジーなどの応用による超小型の生体センサーで構成される在宅情報家電とそれらを接続する家庭内ネットワーク、健康データ蓄積・保存装置(在宅健康情報管理ユニット)の開発が必要である。また、そのデータを電子化された診療ガイドラインに応じて警告したり、リマインドしたり、食事・運動や相談・勸奨などのような健康ナビゲーションを自宅で実施可能な環境の整備とその有効性の検証が迅速に行われるべきである。

高齢単身者の孤独死予防のための日常生活活動の測定は、スマートグリッドを用いた家庭の電力消費や水道使用量から日常生活活動は推定できる可能性があるが、個人の四肢の可動範囲や高次脳機能活動はモーションキャプチャーや動画解析、Virtual Reality 技術を用いた客観的な測定技術応用が必要である。(社会への)参加の測定は、会場予約システムや RFID (Radio Frequency Identification)を用いた参加登録システムデータの利用可能性についての検討も考えられる。このための個人情報の公的利活用に関する法的保護制度が求められる。

## ②新たに重点化すべき課題

国は新たに重点化すべき課題として信頼性の高い健康や予防医学の情報・知識を集めた国民健康・予防ガイドラインデータベースを構築し、国民が格差なく利活用できる社会を作るための長期的視野に立った政策を実行すべきである。これにより、健康管理や予防に関する意思決定を支援することが格差是正につながる。このデータベースは単に現在の文字情報だけでなく、健康に関する形式知データベースと暗黙知データベースの2つからなり、相互に補完し合う必要がある。

形式知データベースは、現在行われているシステムティックレビューに基づく科学論文や文献の精査からの知識ベースと Q&A データベース、類似症例データベースなどから構成される。このためには、現在行われているシステムティックレビューに関する人的作業をできるだけ知識工学技術を用いて自動化する技術の開発が必要である。また、在宅健康情報機器から出力されるデータや健診データ、検診データ、医療データ形式の標準規格化、セキュリティ技術としては Health Public Key Infrastructure (HPKI)のような認証方式の普及や量子暗号などの機密性の高いデータ暗号化技術の実用化、データの精度向上のための個人識別技術の開発が望まれる。また、法の力による個人の健康情報の公的目的での利活用による社会の安定化が望まれる。この実現のためには、世界に先駆けた健康科学や予防医学研究への応用が容易な健康情報インフラの整備のための継続的な重点的公共投資が必須となる。特に、信頼性の高い健康・予防医学情報を得るための大型コホート研究が行いやすい健康情報インフラの整備は公共社会医学研究の実施とその社会への還元を行う上で重要である。このためには、在宅健康情報家電から送られてくる膨大な健康データを自動的に収集できる情報ネットワークシステムと収集された膨大なデータを短時間で高速に解析や予測を可能とする量子コンピュータなどを用いた専用の超高速情報処理基盤技術開発が必要となる。上記は、全国各地域の健康政策の立案や評価などのデータとして迅速に活用され、これからの日本の健康政策を大きく左右する基石となる。

また、上記を安定的に行うためにはグリーンエネルギー関連産業とともに在宅健康情報機器の開発を国の新たな産業分野として重点化し、米国の Biomaterials Access Assurance Act 法のような

制度も検討しつつ、迅速かつ的確な認可制度を新薬開発と並行して早期に具体化する必要がある。同時に、消費者となる国民への保証制度も確立すべきである。このような形式知データベースのユーザインタフェースは、今後情報リテラシー格差是正を目的とした BMI(ブレイン・マシーン・インタフェース)技術の進歩を応用したブレイン・データベース・インタフェースの研究へと広がっていくことが考えられる。

特に世界に先駆けた課題に暗黙知データベースの開発がある。形式知データベースの開発同様、今後の健康・予防教育・生涯教育にとっては非常に重要な研究課題と考える。現在でも、動作・行動データ、対話データ、体験データなどの動画や動作や行動の時系列データ解析は個々に研究が行われているが、健康な日常生活体験を再現する空間やその中での人間の行動を再現できるデータをデータベース化し、体験型インタフェースで再現することで現在の学習機会の格差是正や専門技術習得が地域の就業支援センターや在宅教育などへ応用される必要がある。

## (2) 重点的に取り組むべき基礎研究課題

まず重点的に取り組むべき課題は、信頼性の高い健康知識(形式知)・体験(暗黙知)のデータベース化と健康情報の電子処理が可能な限り自動化可能なシステム化に関する基礎的調査研究である。特に、WHOの国際生活機能分類などの指標をもとにした新しい健康データの標準規格化と個人・施設の識別技術に関する検討が必須である。同時に、健康データの収集・管理技術として健康データ取得技術、健康情報データベース化技術、健康情報セキュリティ技術、健康情報匿名化技術の応用とモデル地区を選んだ実証研究が必要である。さらに、健康データの解析技術(時系列データマイニングなど)、健康知識作成・提供技術に取り組むべきである。また、高齢者や障害者の心身特性を考慮した情報バリアフリー技術の研究開発も健康情報の格差フリーの推進に欠かせない項目である。

## (3) 人材育成・確保

### ①健康・予防医学に関する社会情報基盤システム化促進のための人材育成・確保

日本では、現在金融のような大きな資本が無い健康や予防医学社会において健康・予防医学に関する社会情報基盤の整備を民間で行うことは困難である。健康・予防医学を地域で推進する上では、地域の安全保障を守る公的社会資本とし、公共投資を増やす必要がある。

現状では、この投資が少ないため企業の本領域への開発投資は極めて少なく、従って専門技術者や研究者も少ない。技術者や研究者が少ない分野への学生の採用数も少ない。このため、大学や大学院の学生数も減少し、有能な人材が育成できないという悪循環に陥っている。あるタイミングで長期的視野にたち重点的公的資本の投資が必要である。これに対し、米国のオバマ政権はHealthcare IT政策を推し進めており、医療のIT化、特に電子カルテの普及・推進に192億ドルを公共投資している。

上記の課題について、短期的にはIT企業のシステムエンジニアやプロジェクトマネージャ、プログラマーなどへの健康・予防医学に関する地域社会の情報システム化に関する教育・訓練が必要と

考える。そのための専門職大学院などでの社会人再教育制度の充実による人材の確保と長期的には高等教育における健康情報学講座とバリアフリー工学講座の設置などによる人材の育成制度の確立が急務である。

- a) 高等教育における健康情報学講座とバリアフリー工学講座の設置
- b) 健康情報管理士や情報保障技術士などの認定制度
- c) 理工系の学部での臨床試験方法論の講義

## ②健康情報家電開発のための人材育成・確保

生体工学、特に計測や測定技術は日本が世界に誇る技術を有している。しかし、医療から健康や予防、介護・福祉に必要な機器開発とそれらを家庭で統合するシステム開発や遠隔の医療機関に送る技術開発が求められている。これに対し、個人情報保護や臨床研究の倫理指針など機器やシステム開発を行う上で検討を要する要件が大きく変化した。これに対して現在の生体工学関連の学部教育は欠落している。理工学部における臨床試験方法論の講義や臨床研究プロトコル作成に関する教育が急務である。また、政策としては理工学・情報学者と健康科学者の共同研究の推進のための研究予算の重点化も本領域の人材育成には重要となる。

## (4) 融合・連携の必要性

健康は病気にならないとそのありがたみは実感されない。健康管理には自己あるいは家族の健康状態の把握が重要である。これを具体化するためには、在宅健康情報管理ユニットや健康情報家電の開発を行うための生体工学と情報工学と社会医学の3つの連携が必要となる。生活環境の提供にはバリアフリー工学と健康科学との連携が必要である。さらに、健康状態の計測値の解釈や疑問に答えるためには相談窓口が必要であり、その相談の質を担保するためには健康管理・予防ガイドラインという知識が必要となる。この具体化には、主に要求工学、サービス工学やコミュニケーション学、情報システム学が必要となり、使用する健康・予防ガイドラインの作成には、健康科学、予防医学、知識工学、情報工学、政治学(特に行政学)の連携が必要となる。

## (5) 改革や導入が必要な社会システム・制度等

### ①改革が必要な社会システム・制度など

健康情報インフラの整備に最も必要な改革は、上述した通り法の力により個人から発生する健康情報を公共のために利活用することを法制化することにある。すなわち、法律により健康・保健に関与する行政官や研究者が健康情報を利活用し、社会に有益な政策や意思決定、研究結果を遅滞なく創造する業を保護する、公共における健康情報保証推進制度の導入が先ず重要である。

また、現行の医療機器審査制度を再検討し、新薬開発と並行し健康機器などの在宅健康情報管理機器などの独自の審査制度と市販後調査・保証制度を法によって保護し、積極的に推進すべきである。

## ②導入が必要な社会システム・制度等

情報の提供があっても自分に判断能力や知識が乏しいために適確な判断が行いにくい場合が少なくない。特に健康や予防医学に関する知識は科学的に証明されているものが未だ少なく、標準集団を仮定した確率論的解釈に陥ってしまう場合が少なくない。

この情報格差を是正するためには情報が個々人の状況にあっているかどうか相談する健康相談員制度を充実させる必要がある。特に、約 200 万人の認知症の方や約 350 万人の障害者の方や約 260 万人の精神障害者の方の公的手続きを支援する後見制度を充実すべきである。また、地域の健康管理・予防医学の中心的役割を担う「かかりつけ医」に対する地域健康管理・予防医学支援算定制度の導入など、地域の健康管理や予防医学に「かかりつけ医」が積極的な役割を演じやすい環境支援制度の具体化も地域医療設計上重要と考える。また、今後、緩和医療の中で、死に関する advance directive、living will、Do Not Resuscitate などの個人の意思、価値観に関する情報の共有(本人が希望する場合は)に関する日本文化や地域性に根差した制度に関する研究と実践が重要と考える。

## (6) 科学技術政策と他の政策との関連(政策連携等)

グリーンイノベーションによる人に優しくエネルギー消費の少ない生活環境の実現は、人が健康な社会生活を送る上で必須条件となる。また、社会情報基盤整備政策としてスマートグリッドとクラウドコンピューティングを融合した革新的技術政策や地域活性化などの最重要政策課題の中での具体化に向けた取り組みが求められる。特に 30 年後の社会を考えた時、情報通信分野における革新的技術である量子暗号化などの信頼性の高い暗号化技術の実用化や量子コンピュータなどの超高速処理が可能な計算性能を有するコンピュータの技術開発は、現在の天気予報の予測精度や画像処理性能を飛躍的に向上させ人々の日常生活(近隣の東アジア諸国も含めて)に大きく貢献しているのと同様に、30 年後の社会には予測技術の精度向上と社会への実用化をはかる上で極めて重要な基盤技術となるものと思われる。

## (7) 産業・ビジネス・雇用の創出、科学技術と社会目標とのギャップとの橋渡し

### ①産業・ビジネス・雇用の創出

既に上述したが健康産業は多くのサービスを有機的に統合した新しいサービス産業であり、なおかつコンテンツ産業でもある。これは単に医療にとどまらず、衣・食・住の全ての産業の成果物とサービスに関連する。特に健康のための安全な食品開発(農業・水産業)やバリアフリーの住宅(建設業)や生活環境における各種センサー(エレクトロニクス産業)から出力されるデータ(情報産業)の健康社会への利活用などが重要となる。

また、今後国際化が益々進み、特に東アジアの健康産業市場規模は現在世界最大となると予想されている。これに対し、日本の高品質の医療サービスを提供できるメディカルツーリズムや健康診断やカウンセリング、情報技術指導など幅広いサービス産業が今後 30 年で確実に日本に求められる。その時のキーワードはサービスの信頼性と保証制度の確立である。そのようなサービス

産業と雇用の創出のための健康情報インフラの整備(法的制度改革も含めて)も健康立国として重要な課題と考える。

## ②科学技術と社会目標とのギャップとの橋渡し

科学技術の進歩による技術革新の社会への普及は、一方では、人々にストレスと様々な格差と障害を生じる危険性を含んでいる。概念的には Progressive Caution とも称される。社会目標は往々にして技術先行となり、地域社会の本来の社会目標と解離することも少なくない。そのギャップを埋めるには、既存の実験計画法と高度な社会予測技術を統合した社会技術実験方法論に関する研究と方法論の確立が必要となる。小規模なモデル事業は今まで数多く各省庁別に行われ、多くの報告書が作成されている。その報告書の多くはエンドポイントが曖昧で、学術的な費用対効果や地域住民の意見分析がなされていない報告も少なくない。社会への新しい健康技術を導入するための新しい方法論が必要と考える。

科学技術と社会目標との橋渡しには、科学技術が社会目標に合致しているかどうかを評価する方法を確立する必要がある。そもそも社会目標とは、人々が健康に生活することにある。そのためには、人々が健康に生活しているかどうかを先ず調査する必要がある。前述したWHOの国際生活機能分類を用いるのも一つの方法と考える。これをベースラインの指標として、新しい科学技術を用いた製品やシステムを用いた場合の人々への影響を調査分析することが次世代の新しい生活モデルを考える上で基本的手法の1つとなると考える。

## (8)人々の価値観やライフスタイルの変化、社会受容など

個人の人生観は多様化するが、人間が生存に必要な共生という生物学的なつながりは変わらない。個人の権利と共に、安定した生活が共に送れる社会(共生社会)についての合意形成が社会の中で透明性高く行われることが必要となる。これにより健康情報の利活用についての社会的受容が成立する。

個人の健康データの公共的利活用は社会の安全保障上必要である。このためには現状の個人情報保護法に加えて、健康情報を公的目的で使用するための「法の役割」が重要となる。個人の健康情報を公的目的に応じて利活用することに関する社会的受容を得るための法や制度が必要である。具体的には、情報利用目的の明確化、利活用に関する施設の情報管理体制の整備(情報システム管理も含む)、審査と承認、同意、利用状況の開示、守秘義務も含めた法律上の罰則規定の明文化などに対応した法の整備が急務と考える。

## (9)国際的視点(国際協調、国際競争、世界の一員、東アジアとしての視点など):

国際的視野に立った健康評価は重要である。しかし、特に社会の高齢化の速度が速い東アジア諸国の健康科学を推進する研究者との交流による情報の交換が重要である。そのための健康情報インフラの整備も重要な視点となる。

## 【参考資料】

- [1] International Classification of Functioning, Disability and Health (ICF).  
<http://www.who.int/classifications/icf/en/> (参照 2010-02-20)
- [2] 「国際生活機能分類－国際障害分類改訂版－」(日本語版)  
<http://www.mhlw.go.jp/houdou/2002/08/h0805-1.html> (参照 2010-02-20)
- [3] 今後の高齢社会対策の在り方等に関する研究会(報告書)  
<http://www8.cao.go.jp/kourei/kongo/report.html> (参照 2010-02-20)
- [4] 新健康国家フロンティア戦略 平成 19 年 4 月 18 日  
<http://www.kantei.go.jp/jp/singi/kenkou/dai3/honbun.pdf> (参照 2010-02-20)
- [5] 適切な少子化対策は次世代への責務。スウェーデンとフランスから何を学ぶべきか。  
<http://www.mizuho-ri.co.jp/research/economics/pdf/research/r060701taidan.Pdf>  
(参照 2010-03-05)
- [6] 平成 18 年度医療評価委員会 報告書  
<http://www.kantei.go.jp/jp/singi/it2/ithyouka/houkoku/huzoku1.pdf> (参照 2010-02-19)
- [7] 「認知症の医療と生活の質を高める緊急プロジェクト」～報告書～平成20年7月  
<http://www.mhlw.go.jp/houdou/2008/07/dl/h0710-1a.pdf> (参照 2010-03-05)
- [8] Majumder, A. and Caffery, Jr. J. ; Power line communications: an overview. IEEE potentials. 2004. vol. 23, no. 4, p. 4-9.
- [9] Michael A. Nielsen, Isaac L. Chuang 共著 木村達也訳 量子コンピュータと量子通信I. 量子力学とコンピュータ科学 オーム社 2004 年
- [10] 量子コンピュータ. <http://www.nec.co.jp/rd/innovative/E3/01.html> (参照 2010-02-20)
- [11] American Recovery And Reinvestment Act of 2009 (ARRA) <http://www.ama-assn.org/ama/pub/advocacy/current-topics-advocacy/hr1-stimulus-summary.shtml> (参照 2010-03-05)

## (執筆協力者)

河原崎宏雄、河原崎和歌子、楠田佳緒、坂本宣明、重茂浩美、土屋久幸、三倉剛、若杉三奈子

本課題によせられた 30 年後の目指すべき健康社会の生活モデルのシナリオ例を資料として以下に提示する。

### (資料1) 予測・予防

数ヶ月前からみぞおちの奥に重苦しい感じが続いている。ちょうど 1 年前の人間ドックでは循環器、糖尿病、そしていくつかのがんの検査でも何も異常は無かった。正確には降圧薬を飲み始めて 3 年目であり、血圧が落ち着いているのはその結果だ。5 年前に血圧が高いと言われ、受診を勧められたが、そのままにしていた。翌年、血圧がさらに高くなって、ドックから医師受診を勧める連絡が頻回に届くようになった。ドックでは、健診結果と健康保険組合のレセプトのデータベースを照らし合わせて、医師受診が必要なのに行っていない人間をピックアップし、受診を勧めるシステムを徹底しているという。若干煩わしい気持ちもあったが、いろいろ説明を受け、また幸い医療機関データベースで、近くで週末も行っている開業医が見つかったので、そこに通うことにした。外来で診察、血圧、身長、体重、血液・尿、心電図、画像の検査、そしていくつかの質問項目に答えたが、こうした私の情報は、すべて世界共通のデータベースに自動的に登録されると主治医から聞いた。診療内容やその後の状態(心筋梗塞や脳卒中を起こしていないか、元気で長生きしているか)の情報が揃ったら、逐次、解析され、その結果から役に立ちそうな検査が、診療現場で利用—患者の状態の評価や薬を選ぶ手がかり、病気からの回復の予測など—されるそうだ。私の情報は、私のためだけでなく、私の名前は消した上で他の患者や、今は健康な人たちの予防のためにも利用されるらしい。

外来で行われる検査の一つに全ゲノムシーケンスというものがある。体質—遺伝子を考えて、相性の良い薬を決める参考にするようだ。私はその結果、「プロパレス」という薬を勧められた。私と似たような遺伝子を持つ人には、この薬は良く効いて副作用が出にくいらしい。毎日の血圧は自宅で測定した結果をインターネットで主治医に伝えている。血圧は上がったたり下がったりするが一喜一憂はしていない。しかし、いつもより高かったり、低かったりする時は、自分なりに体調に気をつけて、少しブレーキをかけ気味にして過ごすように気をつけている。

話を元に戻そう。人間ドックからしばらく経って、仕事の後に腹部の違和感を覚え、そのうちに仕事にも無意識のうちに手がみぞおちのあたりに行くようになった。体重はこの半年で3kg 減った。主治医を通して、総合病院の消化器専門医を紹介された。この専門医は、主治医のところで行った検査結果をパソコン上で一覧しながら、主治医からの紹介状に目を通した。画像検査と血液検査が行われ、間もなく結果が示された。—診断は「膵癌」であった。多くの癌の中で「膵癌」は治療の難しい癌だと聞いたことがある。主治医の見立てでは、手術で取れる可能性はあるが、血液検査とゲノム解析結果からは、転移を起こす可能性が、通常よりもやや多いタイプらしい。立体画像での進展状況、併存症(高血圧とその影響)、全身状態、そして全ゲノムシーケンスの結果を主治医はパソコンに取り込み、5 年後に私が生きている可能性、5 年生存率を求めた。その結果は 70%。加えて 95%信頼区間の上限が 75%、下限が 65%と示された。私が生き抜ける 70%の一人になれるか、そうではない 30%の一人になるか、それは分からない。信頼区間の数字は、何となくは分かるのだが、自分自身にとっての意味を考え始めると正直あまり納得はできず、ただ 70%と示された数字も絶対的なものではないのだ、という漠とした印象だけ残った。自分にとって、そして家族や、身近な人間にとっては、当面は「70%に入れるか・入れないか」が精一杯で、その上で「70%」が少々前後するという「二重に不確かな状況」を理解することは難しい。どんなに過去の数字を集めても、今の自分を細かく調べても、将来などこの程度でしか分からないのだろう。「この程度に分かる」ことで、これからの自分の時間の使い方や心の準備をしていくことになるし、家

族にもそう伝えることになるだろう。

この新しい主治医から、いくつかの角度からの立体動画で手術シミュレーションの説明を受け、同意書にサインをした。主治医は、さらに新しい抗がん薬の臨床試験の話をした。関心を持ったので、もう少し話を聞きたいと言ったところ、別室で10分ほどの説明画像を見るように勧められた。「予想外の転移」などと聞くのは嬉しいことではないし、その危険を少しでも減らせるかもしれないなら、実験的な治療でも受けてみようかと思う。臨床試験というものは、必ずしも患者が望む治療法を受けられるとは限らないという話は、以前聞いたことがあった。医学の進歩には必要な方法と思っていたが、自分自身のこととなると、やはり多少でも良さそうな方を選びたいのが正直なところだ。しかし、今、自分が受けている治療も、元をたどれば、こうした患者と医療者の取り組みの成果であろう。私も、自分のためばかりでなく、同じような病気で苦しむ人たち、医学の進歩に多少でも何かの役に立てればとも思う。

いくつかの質問には担当の臨床研究コーディネーターが応じてくれた。以前、抗がん薬は吐き気が強いと聞いて不安もあったが、参加者には全員、良く効く吐き気止めを予防的に使ってくれるとのことだった。家族には、私がこの臨床試験に協力することも了解してもらおう。この臨床試験で新薬が良い結果を出して、広く使われるようになったら、私も嬉しいし、私が参加したことに家族も多少の誇りを感じてくれるかもしれない。

肺癌と、その治療法をより良く知るために、患者向けにまとめられた診療ガイドラインの解説資料を探す。その情報は、インターネットのMindsで容易に手に入った。Mindsは医療者向けの診療ガイドラインを中心に、最近の医学研究成果、そして臨床家の経験などがまとめられているサイトで、全部はとも理解できないが、医療者にとって重要な情報が集められていること、そして多くの医療者がここで情報を得、そして情報を提供していく様子—自分たちの診療上の経験を持ち寄り、患者により良い医療を提供しようとする—がうかがわれ、そのような医療者の姿は頼もしく映った。

ガイドライン情報に加えて、国立がんセンターの患者向けサイト、そして患者自身が病気の体験を語るサイトに関心を惹かれた。私と同じような年齢で、同じような仕事をしていて、同じようにがんを患った他の方々は、どのように病気と向き合っていたのだろう。どのような気持ちで、何を期待して、臨床試験に協力したのだろう？「生き抜ける可能性70%」の中で、私は何を知り、何を考え、自分の時間、人生を見つめていけば良いのだろうか。時間は多少ある。情報もある程度は揃った。

残るは自分自身の価値観だ。

—だとしたら慌てることはない。やるべきことは、これまでと同じだ。

何を大切にしていこうか自問しよう。ただ、もっと深く、今までより、もっと深く—。

#### 【キーワード】

1. 健康診断による受診勧奨対象者の自動抽出
2. 匿名済健康情報の統合データベース化
3. 全ゲノムシーケンス解析情報を用いた個別健康管理・予防
4. 正確な予後予測可能な情報システムの利用(当然知らない権利も担保)
5. 手術シミュレーションを用いた説明と同意
6. 臨床試験
7. 診療ガイドラインと情報提供
8. 自己決定

## (資料2) 無料介護サービス制度の確立

技術の進歩などで、遺伝子の解析やテーラーメイド医療が現実化され、予防対策を充実させることで健康で、安心して長く生活できる社会がやってきた。しかし、かならず老いは来るもので、老いて介護が必要になった時にでも、経済状況により介護サービスに差が出ない、格差フリーの健康情報インフラとして、無料の介護サービスを受けられる社会が構築されなければならない。A社は各医療施設から個人の遺伝子情報や、カルテ情報を匿名化して入手し、National Databaseを構築し、健康維持サービスとして日本国民に提供している。Bさんはそのサービスを活用して、がんになりやすい体質・遺伝を指摘され、若いころから、食生活に気を配り、適度な運動を行い、健康を維持している。また、自治体から提供される健康増進機器の貸し出しを受け、日々の健康情報を自身で測定し、A社にある自身のデータベースに情報を登録している。また定期的に行われるテレビ会議診療面談サービスを受診し、自身の健康状態を把握している。Bさんは60歳になり、会社を定年退職したが、健康上何も問題はなかったため、あたらしい生活スタイルとして、将来の自身の無料介護サービスを受けるためのポイントをためることにした。このため、社会奉仕サービスセンターに登録し、週2回の要介護者への介護サービスを行うことにした。この活動により、将来自身に介護が必要となった時も無償で介護サービスを受けられる権利を手にすることができることとなった。

### 【キーワード】

1. 高齢者が安心・安全に生活を送ることが出来る社会
2. 健常者が健康を長く維持するための行動を喚起する社会基盤の実現
3. 気兼ねなく高齢者が介護サービスを受けられる社会基盤
4. 健常な高齢者が社会的責任者として行動を期待できる社会制度の実現
5. 健常者が活動・奉仕した期間や時間がそのまま、その後の自らの介護サービスに還元される制度の構築
6. 健常者でいられる期間や年齢をできるだけ維持・高めるための予防医学の進歩
7. 意識しなくても自分の健康情報が測定分析され、「家族」や「かかりつけ医」や「介護者」に転送され対応策が講じられるような安心した日々の生活が送れるような社会

## (資料3) 認知症患者支援のための情報インフラ

Sさん(70歳)は、この頃急に物忘れが激しくなり、朝ごはんを食べたかどうかもう忘れてしまっていた。奥さんのM子さん(65歳)は、やっと子供たち2人を大学卒業させ、ゆっくり温泉に夫と二人で行こうと話していたところだった。最初は、夫婦喧嘩で収まっていたが、どうも様子がおかしいとMさんは思い、家にある在宅健康情報ユニットの「医療ボタン」をおすと50インチのモニターに相談エージェントが登場し、「どうされましたか？」とMさんに尋ねた。Mさんは、相談エージェントに夫のSさんが認知症になったのではないかと心配に思っていることを伝えた。相談エージェントは、「了解しました。それではもう少し詳しく教えてください。」と画面に質問項目を表示してMさんに答えてもらった。次に相談エージェントは、認知症の可能性が高いので、公共地域健康相談支援センターの担当の相談員にTV会議で相談するようにMさんにすすめた。Mさんは「了解しました。相談支援センターに相談をお願いします。」と答えた。相談エージェントは、相談予約システムにアクセスし、空いている相談枠の日時と相談員の専門を確認し、Mさんに予約ID、仮予約日時、担当相談員名を表示させ

た。たまたまその日の午後3時の枠が空いていたのですぐに予約し、M子さんに夫Sさんの健康状態を在宅健康情報ユニットで測定しておくこととM子さんにSさんの判断能力が十分とは言えない場合Sさんの市民後見人となる手続きを行っていた方がいいのではないかと伝えた。

午後3時公共相談支援センターからTV会議要求が来たことを相談エージェントはM子さんに伝えた。M子さんは在宅健康ユニットの「TV会議開始ボタン」を押してTV会議を開始した。モニターにはこの地区の担当の相談員のN子さんが表示されていた。N子さんは、M子さんにSさんの日常生活での行動や記憶障害の程度などを詳しく聞き取り、次にSさんに認知症や鑑別に必要な構造化された質問を行った。在宅健康情報ユニットのデータを総合し、N子さんはSさんが認知症の可能性が高いので近くの認知症専門医にすぐに受診することをM子さんにすすめた。M子さんは「了解しました。それでは近くの認知症専門医がいらっしゃる病院を教えてください。」。N子さんは、医療GIS予約システムを用いて近くで認知症専門医外来診療枠の空いているD病院のJ医師の診療予約枠を取得し、日時、場所、予約番号をM子さんに伝えた。M子さんは、社会保障カード(仮想)を在宅健康情報ユニットに置いて「情報保存ボタン」を押して、その情報を保存した。

M子さんはD病院の外来当日、相談支援センターで予約しておいた有償ボランティアの方の車でD病院にSさんとともに訪れた。M子さんはSさんとD病院の外来診療用RFID受付装置に近づくとSさんの社会保障カードを受信し、受付装置のモニターに「受付済みました。外来診療場所は3階です。呼出装置をお持ちになって3階の待合室でお待ちください。」と表示された。J医師は、M子さんとSさんが来院したことを確認し、現在行っている診察が終わるとすぐに、診療端末からM子さんとSさんを呼出装置で診察室に入るように呼び出した。J医師は、Sさんの在宅健康ユニットの健康情報と今までの診療履歴と相談支援センターのN子さんのSさんに関する記録の参照許可をSさんの市民後見人であるM子さんから同意を得て、Sさんの中核症状としての記憶障害の程度と周辺症状の有無と程度の情報と鑑別すべき疾患を参照しながら診察を行った。J医師は、さらに詳細な検査の必要性が高いと考え、MRIとPET-CT、認知症関連SNPや薬剤感受性SNP、脳神経細胞再生能などの検査を予約した。MRIとPET-CTは、医療GIS予約システムにアクセスし、最も近くで本日中に検査できる画像検査センターの枠を撮影条件や副作用等の情報を記入したのち予約した。

M子さんとSさんはD病院の車で検査センターに行き、社会保障カードを検査受付機の前に立つと受付機がSさんの社会保障カードを受診し、1階のMRI検査室へ向かうようにと表示された。次にPET-CT検査も終了後、二人は検査センターの車でD病院に戻った。玄関を通るとRFID受付機が社会保障カードを認識し、自動的に再来院した情報が診療端末で参照可能となった。J医師は、診療端末でSさんが再度来院されたことを確認し、再度呼出器でSさんとM子さんを診察室へ呼出した。その間検査センターからMRIとPET-CTの画像と自動読影された結果が診療端末に転送されていた。J医師は、その画像から大脳の両側海馬の体積が5年前脳ドックで撮影された体積に比べ15%減少していることに注目した。PET-CTでも両側海馬領域の血流低下が認められた。また、右中大脳動脈瘤径3mmがあることもわかった。J医師は、M子さんとSさんに検査結果を説明し、詳しい検査結果が出た後に最適な薬を処方することを伝え、次回相談支援センターのN子さんと1週間後TV会議を行い、今後の治療方針や認知リハビリテーション、デイケアなどについて3者で相談するようにしたいと話した。J医師は地域相談支援センターのN子さんのTV会議予約枠を確認し、M子さんと相談し1週間後の予約を取った。

M子さんは、自宅に帰った後、相談支援センターのN子さんへ病院での結果とJ医師との話の内容を相談するためにTV会議を予約した。次の日の朝、相談支援センターのN子さんからTV会議要求があることを相談エージェントがM子さんに伝えた。M子さんは、TV会議で病院での検査結果のことや1

週間後 J 医師と 3 者で今後の治療方針について相談することを伝えた。N さんは、市民後見人である M 子さんの同意を得て S さんが認知症の診断を受けたことを在宅診断ユニットの情報で確認した。M 子さんに公的支援制度の利用に必要な電子申請や近くの認知症患者を対象としたリハビリテーション、患者の会への入会などについてアドバイスした。

【キーワード】

1. 認知症患者の早期発見・早期治療
2. 在宅健康情報管理ユニットの必要性
3. 地域健康管理・相談支援センターの設置と相談員の役割
4. 医療 GIS 予約システム
5. 相談エージェント
6. 医療用 RFID
7. 新しい画像診断機能(体積計算等)と時系列検査画像比較可能なデータベース化
8. 情報セキュリティ基盤技術
9. 市民後見制度の重要性

(資料4)女性の復職支援

M 子は夫 S さんの認知症治療や地域リハビリテーションセンターでの認知リハビリテーションなど日常生活もある程度軌道にのってきたので、S さんが不在の時に復職したいと考えていた。M 子さんは、もともと県立がんセンターでの看護師の経験が 10 年ほどあり、その後 S さんと結婚したあとは専業主婦となっていた。しかし、地域の相談支援センターでがん患者の人々や家族の支援ができれば自分のこれまでの経験を活かせるかもしれないと思っていた。そこで M 子さんは、地域の相談支援センターにがんに関する相談員募集の有無について相談するために TV 会議を予約した。数日後、復職支援担当の T さんから「現在がん緩和医療の相談員が不足しているが、復職のためがん専門相談員プログラムを受講してほしい。」と連絡があった。ただ、最初は相談支援センターで相談員を行ってもらい、慣れた段階で相談支援センターに行けない場合には、自宅の TV 会議システムを用いて相談業務を行ってもいいこと、時給は約千五百円である旨を伝えた。M 子さんは、復職プログラムを受講することは面倒であると思ったが、時給が高いことと自宅でも相談員業務ができることが気に入り、がん専門相談員プログラムを e-learning で受講することを決め TV 会議で予約することにした。

【キーワード】

1. 女性の復職支援
2. 地域相談支援センターでの就業相談
3. 相談員養成プログラム
4. 在宅での仕事支援
5. 在宅 TV 会議システムを利用した教育プログラム
6. 専門相談員制度
7. がん緩和医療相談

#### (資料5) 熟年者の健康管理と就業対策(熟年者・健康管理・就業対策)

30年前の日本では30年後就業人口の低下を補う上で65才以上の女性人口の増加が予想された。そのために、60才以上でも就業可能な女性人口をふやすために、若い時からコンピュータプログラミングや統計調査、情報管理、相談支援、栄養指導、育児教育、介護など比較的専門性の高い資格獲得への支援用教育プログラムを受講しやすい制度化を行ったり、一旦職業につかれた女性の復職を支援するプログラムへの支援が重点化された。学習や研修の手段として、e-learning system や TV 会議を用いた復職支援センターの情報基盤整備に対する公共投資が積極的に行われ、多くの女性は在宅でも希望した資格が取得しやすい環境が社会基盤として整うことになった。これにより、熟年女性のプログラマやシステム監査、育児教育、障害児教育、地域専門相談員、健康管理データ管理者などの比較的専門性の高い職種に対して多くの女性が専門的資格を持つ社会となった。また、妊娠・出産・乳幼児期の休職期間は公的生活補助がうけられ、従業後は安心して保育所に子供を預け自らの仕事に行くことも可能となった。特に、60～75才の女性保育相談員の増加は、子どもたちにも価値や倫理性について多くの言葉にはできない伝統文化を体感する契機ともなった。

##### 【キーワード】

1. 高齢女性人口の増加
2. 女性への専門教育制度
3. 育児後の復職プログラムとしてのソフトコストとハードコスト両面からの重点的公共投資
4. 新しい職種の創出: 相談員や情報管理士、各種統計調査員等

#### (資料6) 健康・予防ガイドラインの整備

30年前の世界は、情報のデジタル化が進み、インターネットによる膨大なデータの生成と解析、公開が行われていた。しかし、中には健康被害を呈したり、スポンサーの意向にそったダイエット情報が TVで行われることが社会問題化していた。これに対して国は薬事法を基にした対応におわれていた。しかし、一方では、国民は信頼性の高い健康医療情報の提供を強く望むようになった。そのため国は、健康ガイドラインと予防ガイドライン、診療ガイドライン、福祉ガイドライン、介護ガイドラインを作成しデータベース化し、地域の健康管理、予防、診療、介護の指標とすることとした。また、この各種ガイドラインにそった地域医療計画が策定され、それにそった各種サービスが提供されるようになった。また、その実施情報を評価するための調査員制度を構築し、データの収集と管理を行い、大学等での解析と評価、それをもとにした健康政策上の改善点の明確化と代替案の作成とそれに対する予算化をおこなう「カイゼン」サイクルが全国各地で構築されるようになった。

##### 【キーワード】

1. 情報洪水
2. 信頼性の高い健康情報の社会的必要性
3. ガイドライン
4. ガイドラインに沿った地域医療分析と政策立案・評価の「カイゼン」サイクル

### (資料7) 健常長寿者の生活環境と在宅健康モニターの整備

30年前の75才以上の長寿者の孤立死が社会問題となり、孤立死を予防する市民運動が始まった。このため行政は、比較的健常な長寿者が歩いて買い物ができたり、郵便局やその地区の会合に歩いて出向いていきやすい生活環境の整備のために歩道の拡充や歩行困難な方のための電気自動車予約制度、有償ボランティアお迎えサービスなど地区の特徴に応じた地域生活圏再建計画の作成と支援が行われるようになった。特に、地区商店街の再生計画を支援し、また、日常生活の支援として長寿者が自分の家で孤立しないように地区でお祭りや健康・介護予防セミナーなどを積極的に行うことが勧められた。また、在宅健康情報機器に基づいて、特に症状がないときは診療所にわざわざ行かなくてもいいように地域の「かかりつけ医」とTV会議システムを用いて再診できるシステム化ができ、交通費の経費負担も少なくなることになった。さらに、電子処方箋も可能となり、必要に応じて診療所から徒歩でいける薬局に取りに行くか、巡回薬剤配達サービスを用いて薬剤をうけとることができるようになった。

#### 【キーワード】

1. 地域歩行可能生活圏再建計画
2. 地域健康増進・介護予防
3. 在宅健康情報機器の利用

### (資料8) 要介護者支援(重症認知症)

30年前、自分のことや家族のことなど自分の記憶がなくなった方や嚥下困難で意識もなく胃瘻のみで生活されている方の数が急増し、それらの方への介護や対応が問題になっていた。高度な認知症の方は家での生活は困難であるために、家族が歩いていける地区の公共高齢者生活センターで生活することになり、週末は家族で過ごすことになった。胃瘻の方については、併発症や認知度の程度、家庭の家族環境により、在宅で介護を行うか地区公共高齢者生活支援センターで介護を行うこととなっていた。また、難治性疾患の方の生活支援についてもできるだけ家族が居住する地区での医療や介護を行った場合、一部税金が控除されたり、歩いていける範囲(100m以内)に住宅がある場合には固定資産税が控除される制度などが制度化された。このために、多世代住宅や地域への人口回帰現象がおこり、介護用品や経口栄養剤、在宅医療製品など日常雑貨を提供できる地区商店街再生を目的とした公共の地域長寿者支援センターの設置で地域が活性化することになった。

#### 【キーワード】

1. 公共高齢者生活センター
2. 地域商店街再生計画
3. 地域長寿者支援センター

### (資料9) 健康・予防教育相談

30年前、アジア諸国、特に日本社会の中の高齢者人口の増加にともない、高齢者の健康を社会として如何に確保するかが社会的最重要課題となった。しかし、一方では、喫煙率はまだ高く、肝炎予防や各種予防接種に関する対策やその有効性の評価は欧米諸国と比較して遅れていた。その中で最も重要と考えられたものに義務教育への健康・予防教育の導入があった。若くて健康な成人期に健康やが

ん予防を教育しても、すでに生活習慣として定着していることもあり、さらに早期の喫煙の害や健康や命の大切さ、健康社会をつくることの重要性を教育するよう教育カリキュラムの大幅な変更が行われた。この教科書の編纂には、今までの信頼できる健康管理情報のみならず栄養情報など科学的なエビデンスや経験に基づいた教科書が作成され、義務教育の必須項目として導入された。これにより、国民の健康意識の増進と市場原理に影響を受けにくい安定した社会生活のあり方を模索するようになった。特に、生活圏内の地区の共同事業として「お祭り再生計画」「地区子ども会事業の促進」「健康や介護相談」が地区健康管理センターを中心に行われるようになった。これらの教材も国が中心として作成・維持・更新している国民健康・介護ガイドラインに準拠して行われ、必要に応じて有償ボランティアとしての予防医学の専門家による相談会を行うことも盛んに行われるようになった。

【キーワード】

1. 義務教育への健康・予防教育の導入
2. 健康管理・予防に関する教科書の策定
3. 地域共助・公助への取り組み
4. 日本の伝統的地域文化行事への助成(街おこし、村おこし)

(資料10) 健診・がん検診データの有効活用

30年前、人口減少にともなう国の労働力を低下が危惧されているなか国民の健康が社会の最重要課題にすべきであるという論調が高くなった。国はそのため健康フロンティアや健康21や共生社会の構築など多くの報告書を作成した。しかし、喫煙率はまだ高く、健診やがん検診をうけてもその情報は受診勧奨をうけた方を診療する医師に反映されることは少なく、健康診断データの有効的利活用が求められた。そこで国は、保険者が有する健康情報を1)個人の健康管理を行うために必要な個人健康情報、2)保険者が必要な匿名化された健康情報、3)診療勧奨を受けた人の健康情報と診療情報、4)健診者が在住する地区の住民健康管理担当者への匿名健康情報に分類し、その提供による地域医療計画策定が地域の大学等の専門家と共につくられることを支援した。このために、法律や条例が改正され保健所が拡充され地域の公共健康管理・相談支援センターが設置され、地区の健康予防情報提供や地区の政策立案や評価に役立てられることとなった。

【キーワード】

1. 健康診断データの公的利活用可能な法制化
2. 地域医療計画策定
3. 公共健康管理・相談支援センター

(資料11) 地域を中心とした健康・予防教育

今から30年前、A子さんの夫Bさんは、保健所の医師として忙しく働いていたが、疾患予防や保健指導に限界を感じていた。特に、就職したり、家事に忙しい人への禁煙や減塩を指導してもなかなか難しく、また、40才過ぎた人たちががん検診を受けることを勧めてもなかなか受診率が向上しなかった。そこでBさんは、世界中の小・中学生の健康・予防に関する教育内容をインターネットから収集してみた。また、韓国、中国、米国、ブラジル、イスラエル、デンマークなどの初等教育の関係者と自動翻訳機をつ

いたインターネット TV 会議システムを用いて予防医学の初等教育の現状を聞いてみた。それによると欧米では、禁煙教育や AIDS/HIV 感染予防、麻薬中毒の怖さや心臓病や糖尿病、高血圧などの生活習慣病への予防医学などの社会医学教育が早期からおこなわれ、現場の教師で対応が困難な場合には、保健所などの予防専門医が学生の年代に応じた特別授業を行っていることが分かった。また、教育の方法もできるだけ身近な健康状況について理解させることが重要であった。そこで B さんは、保健所の同僚の人々とともに話し合いをもち、保健所の職員や 60 才で定年を迎えた予防専門医や保健師に小学校や中学校に講師として特別授業を行ってもらうことにした。教材の作成は、B さん、小中学校の先生、マスコミ関係者や住民の代表やボランティアからなり「自分たちの住む地域の人々の健康格差」をテーマに作るようになった。

一方、個人情報保護法の数年後、地域住民の健康情報から個人を特定できる情報を取り除いた匿名化健康情報を公共目的で利活用することについて社会的合意形成が行われ公共健康情報利活用（仮称）法が制定された。これにより、各健保組合や医療・検診機関から在住する人の健康情報を標準規格で地域公共健康相談センター（仮称）に送ることを義務付けた法律が制定された。地域の公共健康管理・相談センターには、公共情報管理士（仮称）の国家資格をもつ人が厳格に情報を管理していた。その情報を用い住民の健康維持や疾患の早期発見・早期治療やインフルエンザ感染症の予防や拡大の防止の利用などへ精度の高い解析と予測ができる公共健康情報データベースが開発され、地域公共健康相談センターで維持管理されていた。

B さんは、その公共健康情報データベース（仮称）をもとに疾患予防を行った場合と行わなかった場合の 15 年後や 30 年後の地区住民の人口動態、がんや高血圧、糖尿病などの罹患率や死亡率、それによる人口動態や医療費や介護費用負担に関する教材を作り授業を行いはじめた。また、地域の大学の研究者と共同でこの予防医学教育の効果の検証を行うために毎年その地区の疾患の罹患率や死亡率や喫煙率、がん検診率などの情報を収集し、解析評価する社会医学研究を行った。さらに、その成果をインターネット上に公開し、住民からの要求を分析し、住民の声を地方行政に反映できる新しい地域健康管理システム作りを始めることにした。

#### 【キーワード】

1. 保健所の地域の健康管理や予防医学の推進に対する役割
2. 地域の小学生や中学生への健康・予防教育
3. 専門知識をもつ熟年者による有償教育ボランティア
4. 予防専門医
5. 健康情報の公共目的での利活用が可能な法制化
6. 公共健康情報データベース
7. 地域公共健康相談支援センター
8. 地域における健康状況を反映するデータの収集と解析、対策の立案と評価

# 健康・高齢社会の成功モデルとしての日本

## 格差フリーのための健康情報インフラ

### 格差フリーの住みやすい街づくり(自助・共助・公助)

#### 家庭の役割

- 妊産婦健康管理
- 子供の健康管理(予防接種等)
- 思春期健康管理(不登校、栄養管理等)
- 生活習慣病健康測定と予防
- 在宅リハビリテーション
- 在宅介護・地域介護への参加
- 居住空間のバリアフリー化・アメニティ化等

#### 地域行政の役割

- 住民健康相談と健康情報提供の制度化
- 各種予約システム化
- 地域健康状況の把握と対策、有効性評価
- 地域健診・検診制度の充実と評価
- 地域リハビリ・介護施設整備
- 地域公共施設のバリアフリー化
- 地域市民後見制度の充実等

#### 国政の役割

- 健康情報の公的利活用に関する法的保障
- 健康情報(健康指標データ)の標準化
- 地方の健康情報インフラ整備のための継続的公共投資
- 科学的信頼性の高い健康・予防ガイドラインの整備
- 健康機器・システム産業の育成
- 健康情報学、バリアフリー工学分野の人材の育成等

## 住みやすい街づくりのための健康情報インフラ

#### 【在宅健康管理環境】

- 健康相談用TV会議システム  
(予約・相談・情報検索・教育機能)
- 在宅健康情報家電  
(家族の予防接種・健診・検診・診療・介護情報管理や  
予防処方箋の出力と生体情報取得機能等)
- 在宅介護・リハビリテーション  
(電腦ベッド)
- 高度なセキュリティが保証された家庭内情報  
通信基盤とバリアフリーの居住環境等

#### 【人的資源充実】

- 地域育児相談員
- 地域健康調査員
- 地域健康相談員
- 地域リハビリテーション相談員
- 地域介護相談員
- 地域市民後見人
- 地域緩和医療専門員等

#### 【施設充実】

- 地域相談支援センター
- 地域健診・検診センター
- 検診医療機関
- 地域リハビリセンター
- 地域介護センター等

#### 【健康情報管理】

地域健康情報管理センター

#### 【健康情報公的利活用環境】

- 地域行政での健康情報の利活用
  - ※住民の要求分析
  - ※地域健康調査(ICF等の利活用)
  - ※地域健康・予防・介護・福祉関連公共資源の  
性能・配分評価等

#### 【健康情報学術利活用環境】

- 学術機関での健康情報の利活用
  - ※地域健康状態・政策評価指標の開発研究
  - ※大型コホート研究の実施
  - ※予防介入・健康教育介入・情報化介入研究等
  - ※エビデンスの構築⇒健康・予防ガイドラインへ
  - ※健康行政官・技術者・研究者の育成

健康情報(健康指標データ)の標準規格化

高度なセキュリティが保証された情報通信基盤整備  
 社会保障カード+認証(HPKI)基盤+高度なデータ暗号化技術+匿名化技術+個人識別技術

個人情報保護法と共に健康情報の公的利用に関する立法化による法的保証

## 食料安定供給

リーダー 名古屋大学 山内 章

名古屋大学 浅沼 修一

名古屋大学 川北 一人

名古屋大学 前多 敬一郎

### 1. 将来社会の姿

#### (1) 大きな鍵となる事項

我が国の住民に対して安定的に食料を供給する

国内ならびに海外の農地における食料増産を保障する革新的技術開発

#### (2) 約30年後(2040年頃)の将来の姿

30年後には、国内における単収ならびに耕地面積の増大、そして海外における耕地の確保と我が国発の技術開発による生産性の向上により、食料が安定的に供給される体制が整っている。

国内においては、農業の生産性が飛躍的に向上することにより、生産コストが大幅に削減され、農業は、産業として非常に力を付けている。生産性向上の要因は2つある。1つは単収や技術レベルの向上である。イネを初めとする主要作物の収量は今のほぼ2倍になる。また、早生化(生育期間の短縮)により2期作が可能となる。もう一つは、都市圏や都市近郊で、産業構造の転換や人口減少によって生まれている広大な土地が農地に転換され、耕地面積が拡大することである。これらの農地では、企業経営、集落営農、家族経営と、様々な形態の農業が展開され、消費者の多様なニーズに対応した農業が進められている。したがって、生産から、流通、消費、廃棄に至るまでのエネルギー・経済コストは非常に小さく、また農業は、都市住民にとって、きわめて身近な存在になっている。

水田には、水稻とともに、耐湿性が強化された小麦や大豆が、合理的な作付け体系の中で栽培される。また、エネルギー作物も広大に栽培されて、隣接してバイオエタノール、バイオディーゼルプラントが稼働している。畑では、これも収量が倍増したトウモロコシなどの飼料作物が栽培されている。また、高度にIT制御された施設内では、商品価値の高い、野菜や花卉が、エネルギーコストや環境負荷が極限まで抑えられた形で栽培されている。同様に、都市近郊では、酪農や養豚などが、上述の作物栽培と密接に結びついて営まれ、エネルギー・資源循環型農畜連携生産システムが確立されている。

国内の農業生産に加えて、海外における安全な食料の安定した生産はきわめて重要な位置を占めている。そのためには、海外の農家や企業に生産を全面的に任せるのではなく、我が国の技術管理下で生産される体制が確立されている。ここでは、我が国で蓄積して来た技術を最大限駆使しつつ、栽培地域の環境条件に適した技術が展開されている。とくに、各地域の不良環境条件(乾燥、過湿(湿害)、塩害、問題土壌(酸性など))の特徴に関する正確な把握に基づいて、それ

それに合わせた、耐性／適応性を具備した品種と、それに適した栽培方法との組み合わせによって、高い生産性を維持する技術体系が完成している。

これらに使われる作物や動物の品種や、生産に必要な技術は、パッケージとして多種多様なものが約100種類用意されていて、生産地域の環境、社会的条件に適したものを選択できる体制が整っている。

こうして、産業として非常に力を付けた農業は、国内のみならず、我が国の技術によって海外の農地でも食料を生産し、これらが消費者の多様なニーズに応えつつ、住民に安定的に食料を供給する。

### ①国内における生産性と農業の地位の飛躍的向上

我が国は、作物生産に必要な太陽エネルギーと水が豊富で、かつ、その水を制御しつつ生産に効率的に利用するために、2000年以上かけて、水田システムを整備・完成させてきており、世界でも有数の農業に適した国である。世界のほとんどの地域で、これらが不十分なため作物生産が制約されている中で、我が国は、自然条件から言ってきわめて恵まれていて、これらを十分に活用し、国内はもとより、世界に食料を供給する基地となる。

水田はもともと水を貯めるための装置であり、近年の生産調整などの政策により、畑作物の栽培を余儀なくされてきたが、水田で米を作る生産体系が復活し、その水田では、水稻の生産性(単位面積あたりの生産量)は現在の2倍になる。

一方で、生産性だけではなく、畑地も含めて耕地面積そのものも増大するが、特に都市圏やその近郊で顕著に増える。今後人口減少の進行に伴って、都市の内部で、いわゆる核家族団地が各地でゴースタウン化するので、まとまった未利用な土地が出現する。さらに、いわゆる同居型のライフスタイルが進むので、無駄な居住エリアが農地に転換される。これらを耕地化して作物を栽培する。ヒートアイランド化した気温の高い大都市圏では、トウモロコシなど高い光合成能力を示すC4作物や、新たに開発された、高温耐性を備えた作物を生産し、主として家畜飼料として利用する。

同様に、重厚長大型産業から他産業への転換が急速に進む結果、大量に生まれる工場跡地も農地に転換される。さらには、とくに20世紀に至る所に建設されたダムからの水は供給過剰になるので、余剰になった工業用水を積極的に農業に利用する。こうして豊富な水を効率的に使って、次のような新たな農業が展開される。

ひとつは、現在、我が国の食料自給率を下げる主要な要因になっている、いわゆる圃場利用型と言われる、小麦や大豆などの畑作物や、バイオエタノール生産のための資源作物の生産性が画期的に高まる。また、世界的にも類を見ないような、豊富な水をきわめて効率的に使って作物生産をするシステムである水田を最大限活用して、イネの生産性はさらに高まる。また水田は、生産機能だけではなく、治水機能をも備えており、都市の中での貯水ダムとしても機能する。このことは、今後の気候変動が予測される中での都市防災を考える上でも、きわめて重要である。これらは企業経営や集落営農による大規模栽培が主流である。

もうひとつは、商品価値の高い野菜や花卉などが、高度に環境が管理された施設内で、エネルギーコストや環境負荷が極限まで抑えられた形で生産される。施設や栽培容器などは、生分解性プラスチックが使われる。施設の運転に必要なエネルギーは、基本的に、太陽エネルギーと、プラントとして一体となった、家畜糞尿を使ったメタン発酵によって生産されるバイオガスによって賄われる。肥料も、糞尿や、他産業からの様々な生物系廃棄物を組み合わせた有機物を主体として作った有機質肥料を使用する。また病虫害防除には、抵抗性の品種、植物免疫賦活剤、生物農薬（病原微生物の抑制、共生微生物の利用、共棲微生物の調節）により飛躍的に効率化される。植物免疫賦活剤には、抵抗性付与のみならず、植物自体の生産力を増強する作用も見込まれる。さらに、先端農薬と先端肥料の活用により、作物の生産性向上とその生育環境である土壌改良や環境改善が可能となる。とくに影響が深刻な土壌伝染性の病虫害に対しては、抵抗性品種と、太陽熱による土壌消毒の組み合わせによって、従来の殺菌剤などの農薬の使用は徹底的に抑制される。

このような施設は、一体となったプラントとして、技術を含めたソフトとともにセットで販売され、企業経営から家族経営に至るまで、規模に応じて、様々な経営形態が混在する。これらの生産は、少量多品目の栽培体系で行われ、消費者の多様なニーズに応えられるシステムが確立されている。

さらに、都市近郊には酪農や養豚などの畜産も行われる。ここでは、とくに上述の施設栽培との間で農畜連携が効率的に機能し、エネルギー・資源循環システムが確立されている。また、温暖化による夏期の高温が、乳牛の生産性や、家畜の繁殖率に及ぼす深刻な悪影響は、畜舎の緑化技術が確立され、大幅に緩和される。

以上のように、都市圏やその近郊に農地が作り出され、多様な農業が展開される。それによって食料生産の基盤が確立される。またこうすることによって、食料の生産のみならず、輸送、運搬に関わるエネルギー的、経済的コストの大幅削減が可能になり、さらに都市住民の日常生活の中に、農業が深く入り込み、食料・農業に対する価値観はまったく今とは異なり、農業は都市住民にとって身近なものになると同時に、食料生産・流通、消費にかかわる産業は大きな雇用を生み出している。

## ②海外における生産性の向上

国内の農業生産に加えて、海外における安全な食料の安定した生産はきわめて重要な位置を占めている。アメリカ、中国、オーストラリアなどに加えて、アジアやアフリカなど、多くが熱帯地域にある発展途上国における食料生産は、我が国の食料確保にとって大きな位置を占めている。現在では、日本がこれまで蓄積してきた集約農業の先進技術に比べれば、特に途上国の農業技術は粗放的・初歩的な発展段階にあるが、ここに日本の既存技術と今後日本の研究によって開発される技術を適用することによって、農業の生産性は飛躍的に向上している。とくに、日本の農民や企業が海外に渡って農業生産を行うことによって生産性が向上し、その国が必要とする食料の生産に留まらず我が国に輸出することを目的とした食料の生産が可能になっている。さらに、そこで実

践される農業技術は周辺の農民にも広まりその国全体の食料生産が高まっていくという相乗効果を生み、このことによる我が国の国際貢献は世界の国々から高く評価されている。

### ③生産環境に応じた品種育成と生産技術

作物栽培、畜産が行われる地域の環境条件に応じて、多数用意されている、品種と生産技術が組合わされたパッケージの中から、生産者が、最適なものを選択することができ、また必要に応じて技術的なサポートを得られる体制が確立されている。

## (3)約15年後の姿

### ①国内農業の生産性の向上

多収や栽培体系研究へ重点がシフトしたことにより、単収が向上し、また、農耕地の利用効率と、面積の増加が相乗的に効果を発揮し出し、農業生産は増加に転じる。

環境保全型農業への関心が高まり、環境制御型施設園芸の技術開発が進み、都市圏やその近郊に農業生産が浸透し始める。

### ②海外における生産性の向上

現在の農耕地で農業生産が向上し、気象変動にかかわらず安定生産ができるようになる。また未利用地の利用に向けた農耕地の基盤整備、ストレス耐性と病害虫抵抗性のある作物の育種、作物の能力を引き出す栽培環境の解析、それに基づいた地域有機物資源、肥料や必要最小限の環境に易しい農薬を使った安定生産技術の開発、海外に適応した生産物のポストハーベスト技術(貯蔵や輸送中の変質、虫害を防止)の開発と利用などによって作物生産が開始される。

## 2. 目標とする将来への到達の道筋

### (1)重点的に取り組むべき研究開発課題

#### ①イデオタイプ(理想型)のデザインによるカスタマイズされた品種の育成

作物、動物とも、生産性に関わる形質とその遺伝子(座)を明らかにした上で、分子マーカー育種によって、目的の形質に関わる遺伝子(座)を有する系統を何種類もあらかじめ準備しておく。その機能と環境要因との相互作用の評価を踏まえて、その遺伝子(座)の機能を最大限に発揮できる環境条件や栽培技術を明確にする(理想型(イデオタイプ)のデザイン)。

生産者に対して、それらの情報が簡便にアクセスできるような仕組みを作る。生産者は、生産する対象地域の生物的、非生物的(環境)要因、また必要に応じて消費者の好みなど社会的要因などを考慮し、その条件下で、必要な形質を最もよく発揮する理想型(イデオタイプ)を、研究者のアドバイスのもとにデザインし、オーダーする。それに応じて、研究者はピラミディングによって必要な遺伝子を組み合わせ、その条件下で最適の、カスタマイズされた品種と生産技術のパッケージを生産者に提供する。

## ②作物生産力の飛躍的な向上

### ○水稲の単収を現在の2倍にする

品種改良による単収向上、あるいは2期作など栽培技術の改善による。そのためには、早生化によって、生育期間の短い品種を開発する必要がある。現時点では、一般に早生化(生育期間の短縮)と乾物生産量との間のトレードオフの関係は不可避であるが、それを克服し、生育期間が短くても、乾物生産量が大きく高収量の品種を開発する。また、温暖化に対応し、高温条件下でも品質を低下させずに収量が向上する品種を開発する。

良食味で品質の良いジャポニカであれば、価格が国際水準の2倍でも市場競争力があり、国際市場でも勝負できるので、輸出用の品種を開発する。そのために、輸出対象国における食味の好みを詳細に調べ、香り米なども含め、食味・品質を改良する。

### ○水稲以外の、周年、水田を利用できる作物の開発と、それらの大規模合理的輪作体系の確立

小麦、トウモロコシ、大豆等との大規模合理的輪作体系を確立する。そのためには、対象とする作物の耐湿性を強化する。すなわち、水田のような酸素のない嫌気条件下でも生育できる畑作物を開発する。飼料作物(飼料用の稲を含む)も有力候補である。また、とくに、小麦については、日本の品種はすでに世界でも最も生育期間が短い、さらに収量を低下させずに早生化することによって輪作体系に組み込むことが可能になる。

## ③エネルギー作物の探索、育種、栽培技術の開発

ソルガム、エリアンサス、テンサイ、サトウキビなどが候補である。資源作物をバイオエタノール原料用に目的生産すると、食料とエネルギーとの競合という観点から批判がなされる場合もあるが、日本では耕作放棄地における資源作物生産が想定されており、むしろ耕地の荒廃抑制を通じて食料生産基盤を強化する効果が期待できる。エネルギー変換効率や経済効率の向上は急務で、とくにセルロース系の第2世代バイオ燃料は重要である。

## ④施設栽培—畜産生産体系の確立

施設栽培において、コンピュータ制御による環境創成技術を駆使した、徹底したエネルギー、経済コストの削減と資源循環システムを確立する必要がある。

野菜類などの、光エネルギー利用効率を飛躍的に高める栽培・収穫技術、ならびに育種を進める。とくにトマトの収量を、現在のオランダ並みに倍増する。

生物系廃棄物(家畜糞尿、厨芥、食品産業廃棄物、水産物加工廃棄物など)の資源化(とくに肥料など)ならびに生分解性プラスチック製造技術の飛躍的改良は急務である。

畜舎の緑化による夏期高温抑制ならび臭い制御技術の確立は、都市近郊における畜産の必須要件である。

## ⑤環境ストレス耐性作物の開発

海外の不良環境条件下で、生産性を高く維持できる作物の開発が最も重要である。

それには、今現在途上国等で作物生産を阻害している要因の解明と対処技術の開発が必要となる。典型的な不良環境条件としては、乾燥した土地、塩類が集積した土地、有機物含量が低い上に窒素、リン酸、カリウムなど植物養分が欠乏して生産性が低い土地、重金属や石油で汚染された土地、洪水など水のコントロールが出来ない土地、太陽エネルギーは高いのに気温が低くて作物生産性が低い高標高の土地、などがある。このような、ストレス耐性の高い作物品種の育成には、稲、トウモロコシ、大豆などの穀類、キャッサバ、ヤム、サツマイモ、ジャガイモなどのイモ類の作物に焦点を当てる。イモ類は、食用以外にも、生分解性プラスチックやバイオエタノールの原料としても今後ますます重要になる。

#### ⑥海外(とくに熱帯地域の途上国)における作物生産環境管理技術の確立

とくに、水不足の問題は最も深刻で、乾燥ストレスによる収量減を最小限に食い止めるために、水利用効率の高い作物品種の開発と、灌漑用水の不足に対応するための、効率的・効果的灌漑技術の開発が重要となる。

土壌条件の科学的分析と地域資源をフル活用する生産性向上技術の開発、さらに、収穫後の腐敗や病害虫被害を抑制するポストハーベスト技術、農産物に栄養強化や保存性を付加する食品加工・輸送技術が必須である。また、農業生産技術の普及と運用を保障するためエネルギー源や燃料の確保が必要であり、個別農家または農家グループが利用できる小規模太陽光発電技術、太陽光集光技術、作物残渣、家庭ゴミや畜産廃棄物を原料とするバイオガス生産システム利用技術も必要である。

途上国で主流を占めている土地利用型作物生産において、稲、トウモロコシ、小麦、大豆などの穀類やキャッサバ、ヤム、サツマイモなどのイモ類のストレス耐性の強い高収性品種は窒素、リン酸、カリウムなどの植物養分の吸収量も高まる。そこで、マメ科植物などカバークロップ(農作物を栽培していない時期に他の植物を生育)を組み入れたクロップローテーションを利用した持続的土壌生産力管理技術の開発、有機物等の地域資源と化学肥料を高度に組み合わせた生産資材の開発とその利用技術の開発、作物の要求に応じた養分供給を可能にする土壌微生物の開発とその利用技術の開発、作物の遺伝的能力を十分に発揮させる栽培環境、特に根圏環境の解明とその利用技術の開発なども重要である。

また、大家畜の生産を阻害するツエツエバエに媒介される眠り病、砂漠渡りバッタによる作物の殲滅など多くが熱帯に属する途上国は病害虫の宝庫でもあり、これらに対する耐性品種の育種も重要である。

#### ⑦動物性タンパクの生産技術の確立

乳用牛や肉用牛では、人工授精技術の完全化とともに、急激な繁殖率の低下が起こっている。これにより動物性タンパクの生産性は従来のは半分以下にまで低下している。人工授精用の精液を提供するオスの選抜法に問題があり、凍結精液中に有害な遺伝子が蓄積していると考えられている。従

来のような乳量や肉質といった単純な育種目標だけでなく、繁殖性や抗病性などの多様な育種目標が求められている。いわばプラスの目標ではなく、マイナスではない育種目標の設定と、それを可能にする育種技術の開発が必要である。マイナスをゼロにするための研究開発は、伝染病を除けばほとんど認められないのが現状である。

産卵鶏やブロイラーの主要品種は完全に米国等に握られているため、日本独自の効率的な品種の開発が必要である。

効率的な品種改良のためには、家畜の繁殖技術の開発と改良は必須である。ウシにおいて開発された数々の生殖工学(人工授精、受精卵移植、クローン技術、雌雄産み分け技術、遺伝子導入技術など)はヒトに応用され、生殖医療の基礎となっているが、これを効率的に他の家畜、ブタやヒツジなどに応用していくことが必要である。また、乳用牛あるいは肉用牛の凍結精液は広く流通しているが、近親交配が進んでおり、さまざまな有害遺伝子が蓄積していると考えられ、ウシゲノムの利用による現存精液の遺伝子型解析と改良の方向性の転換が急務である。

主要な魚種における完全養殖技術の開発は、水産食品に依存する日本の未来にとってきわめて重要であり、「獲る漁業」から「育てる漁業」への転換を一気に図るための技術開発が求められる。

## (2) 重点的に取り組むべき基礎研究課題

### ① 遺伝子型 × 環境 × 生産技術 相互作用評価

農業上重要な形質の多くは量的形質で、遺伝子に規定された形質、能力の発揮は、生産環境や生産技術の影響を強く受ける。この遺伝子型×環境 相互作用については、つい最近までは統計学確率論に基づいて「推定」されていたのが、現在では、遺伝子の実態として実証し、QTL(量的形質座位)×環境 相互作用として捉えうるようになりつつあり、農業上重要な形質を実際に育種に取り入れることが画期的に現実性を帯びてきている。この相互作用解析の方法論の開発とその正確な評価が、今後の、遺伝子情報をもとにした育種(分子マーカー育種)の成否の鍵を握る。

そのためには、以下の②と③の研究の進展が前提になる。

### ② 有用作物のゲノム研究、ポストゲノム研究の推進

有用作物の品種ごとのゲノム解析やポストゲノム研究は、人為的遺伝子改変によらない品種改良を迅速に進めていくうえで必要不可欠である。これからはトウモロコシ、小麦、大豆といった主要穀物の各品種のゲノム解析とポストゲノム研究を強力に推し進める必要がある。生理メカニズムの基礎的解明の成果が遺伝子の機能と直接結びつくことが重要である。

### ③ 環境計測技術の革新的発展

ある遺伝子型(品種/系統)の機能の発揮は、環境の影響を強く受ける。たとえば、乾燥ストレスに対する耐性に関わる形質(したがって遺伝子(QTL))は、そのストレスの強度やパターンなどによって異なることがわかりつつある。したがって、その形質を特定するためには、作物が生育している

環境(たとえば土壌水環境に限っても、水ポテンシャル、垂直・水平分布、推移パターンなどが含まれる。また、これらは硬度と相互作用を有し、根の発達を規定する。)を正確に測定・モニターし、把握することが前提であるため、そのための技術開発は必須である。

#### ④病害虫の防除技術開発に向けた基礎研究

病虫害により作物生産の50%は失われていると考えられ、その損失を減少させることで相当量の作物生産の向上が見込まれる。従来型の農薬は、病原菌や害虫を殺す殺菌剤や殺虫剤が主であり、その残留性ゆえに、環境への負荷や汚染、食物連鎖による多種多様な生物への影響、耐性菌や新規害虫の出現などといった農薬の持つ負の側面が20世紀末にはクローズアップされた。21世紀型の新しい農薬として、生物農薬や植物免疫賦活剤の開発に力点が移りつつあるが、未だに有効な剤は少ない。一方、抵抗性を付与した遺伝子組み換え作物の利用が検討されているが、社会的に認知されることは難しいと考えられる。そこで、生物農薬や植物免疫賦活剤といったポジティブな面を担った先進農薬の開発に向けて、病原菌や害虫と植物の間に展開される感染生理機構、植物の抵抗性誘導機構を解明するという基礎研究が必須となる。

#### ⑤主要家畜を対象としたゲノムおよびポストゲノム研究

家畜の生産性を左右する乳量や肉質、成長など量的形質の遺伝子解析技術は必須である。これら量的形質を効率的に向上させるための遺伝子研究が、品種改良の糸口となる。

家畜の場合は遺伝子発現から表現型発現にいたるメカニズムが複雑であるため、遺伝子を特定した後も生理メカニズムに関する基礎的研究が必須であり、げっ歯類などさまざまな実験動物での基礎実験から、そのメカニズムの家畜への外挿が特に重要である。

#### ⑥魚類および無脊椎動物の繁殖生理、生態に関する基礎研究

ウナギやヒラマサなど現在重要魚種として研究が進められている魚類、またエビやカニ、アワビなどの無脊椎動物についての繁殖生理や生態に関する基礎的な研究が必要不可欠である。特に無脊椎動物については基礎的研究が遅れているため、繁殖のためのホルモンや神経系に関する解析、また人工飼料開発のための摂食や栄養に関する基礎的な研究を推進する必要がある。

### (3)人材育成・確保

今後、農業研究者・技術者、実務者にますます求められるのは、環境制御された環境条件下(たとえば実験室内)と、生物が機能を実際に発揮するフィールドにおける現象の双方に深い関心と理解があり、遺伝子機能の発現機構と生理メカニズムをよく理解し、学際的視野を有した人材である。この人材は、作物、動物の表現型(生理機能や生長・収量など)の遺伝制御とその環境や生産技術との相互作用を深く理解し、対象とする生産地域における、社会経済的要因をも考慮した上で、最適な品種と技術の組み合わせを提案する能力を有する(イデオタイプデザイナー)。

我が国は国内において研究するだけでは不十分で、海外に出てそのような研究に取り組む研

究者や実務者の育成を行わなければならない。日本国内だけでは、将来にわたって食料が十分に確保できないことは明らかで、それだからこそ、日本に留まらず海外での農業生産向上のための研究や実際の農業に取り組むことのできる能力を有する人材が重要となる。日本人だけでなく、留学生を受け入れて育成し、帰国後我が国が必要とする食料の生産に携わる人材の育成もさらに重要となる。

これに向けて、日本の農学研究者が海外に進出し、海外の農耕地を対象として気象、土壌などの環境条件の分析、栽培技術の開発、作物育種などの研究を推進する。また、海外、たとえばケニヤやカンボジア、に我が国主導の農学研究拠点を設け、現地の問題に取り組む研究教育体制を整備して、日本の大学と一体となって、日本の若者や海外の若者を一緒に教育する。海外で重要になるのは、大規模機械化に伴う粗放的農業技術よりむしろ我が国が営々として作ってきたきめ細かい集約的農業技術で、その開発のためには研究者自ら現場で汗を流してデータを取る研究姿勢の醸成である。この様な体制整備によって30年後に限らず将来的に世界で我が国の食料生産を可能にするため、国際的視野を持った日本の農学研究者、農業技術者、海外の農学研究者、農業技術者の人材育成(学際的農業研究者)を強化することができる。

#### (4) 科学技術政策と他の政策との関連(政策連携等)

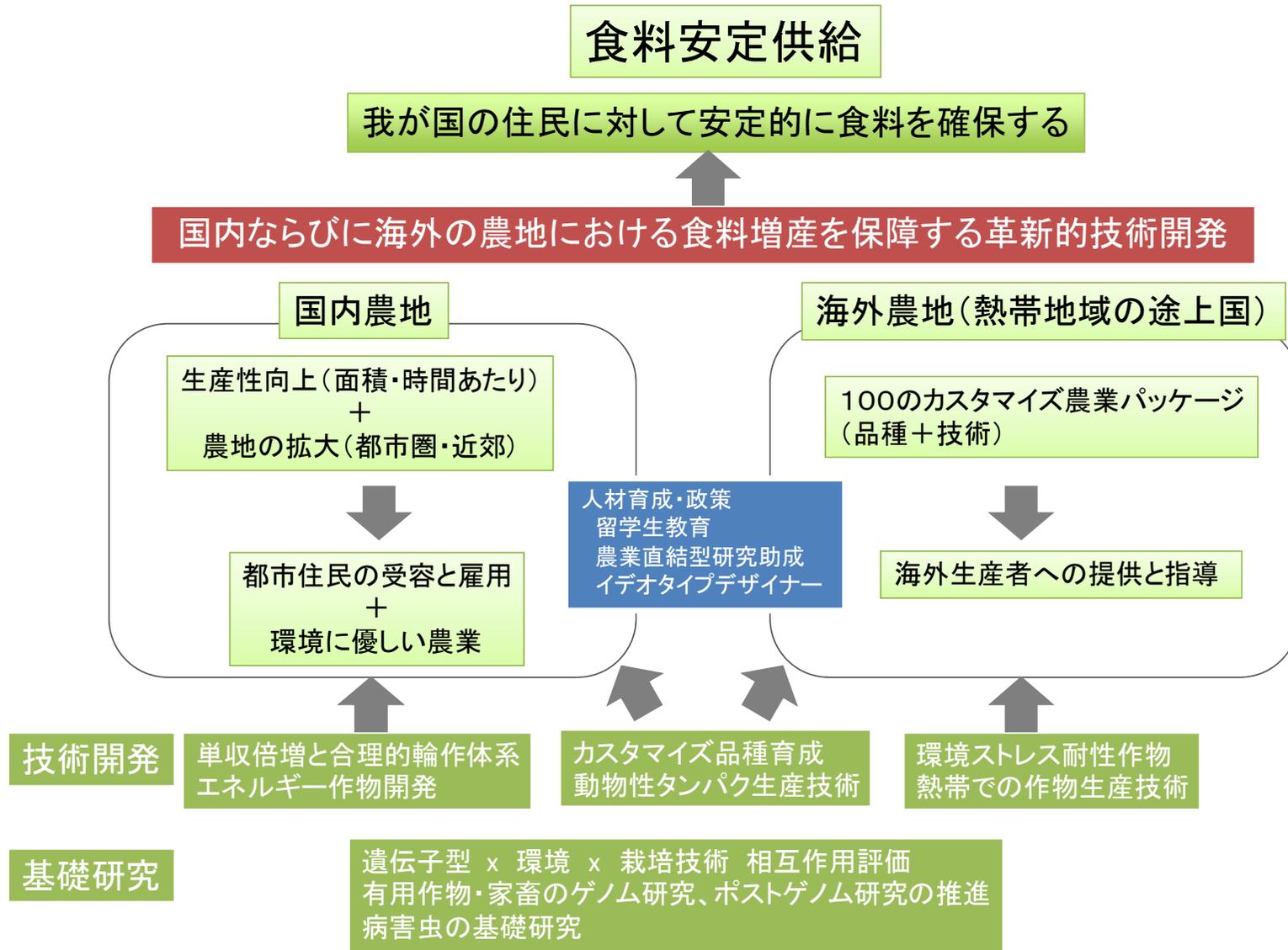
科学技術政策において、ライフサイエンスが重点項目として取り上げられて来た理由の一つに食料問題が常に挙げられているものの、ライフサイエンスの重点分野は医学・薬学へ偏り、農学、ことに一次生産への研究投資は、政策の中で非常に重要度が低い。今後の重点投資においては、一次生産に必要な研究分野を精査し、積極的に助成していくことが重要である。

#### (5) 人々の価値観やライフスタイルの変化、社会受容等

○食料生産や農業に必要な技術開発予算を確保していく上で、食に対する国民の意識変革は、とりわけ重要である。食料生産あるいはその技術開発のための研究には、相当のコストが生ずることを国民が理解し、そのコストの一部を税金で負担するという意識が広く浸透することが肝要である。また、我が国は、食料自給率がどれほど向上しようとも、食料の相当部分は海外での生産に頼らざるを得ず、そのことは「海外農地の所有」に等しいという認識が必要であると同時に、そのための海外への投資や食料生産技術の海外移転に対しても大きなコスト負担が必要であることを納税者が理解することが重要である。

○遺伝子組み換え技術に関する人々の意識変革は日本において相当に難航することが予測される。このため、現在は、分子マーカーを利用して、従来の交雑育種の効率を格段に上げる方法による育種が主流になりつつあり、この研究を急がなくてはならない。組み換え作物の利用については、その環境に対する影響アセスメント等に関する研究を強く推進するとともに、その結果を広く知らせていくことが肝要である。

○広く初等教育から生涯教育に至るまで、農業に対する理解を得るような教育を推進していくことは重要であるが、いわゆる農業体験のように、田植えをさせたり、土に親しませる、といったような教育だけでは、現代農業に対する誤ったイメージを与える可能性がある。その結果、優秀な若者が農業から離れてしまうといったような現象が起きかねない。機械化された圃場やコンピュータ制御された施設での高度な生産技術や、ポストハーベストなど、現代の農業生産の実態に関する正しい理解を促すような教育が必要である。



## 化石資源・鉱物資源の安全保障

リーダー 出光興産株式会社 谷口 一徳  
DOWAエコシステム(株) 加藤 秀和  
新日本石油開発株式会社 管野 昭久  
新日本製鐵株式会社 長野 研一

### 1. 現状分析(解決すべき課題の明確化)

本稿で対象とする資源は、石油、石炭、天然ガスに代表される在来型化石資源、オイルサンド等の非在来型化石資源、ウラン、鉄・非鉄金属、レアメタル等鉱物資源とする。併せて、化石資源の利用に際しては、CO<sub>2</sub>の排出を最小化することが重要であると共に、CO<sub>2</sub>の回収・固定(CCS)も重要な選択肢となることから、CCS(CO<sub>2</sub>の回収・貯蔵)の実施可能容量もまた資源であると考ええる。

資源を取り巻く大きな状況変化としては、BRICSをはじめとする新興国の急速な経済成長による資源需要の増大と地球温暖化対策をはじめとする環境制約の増大が挙げられる。

化石資源、鉱物資源ともに、需要の増大と相俟って価格の高止まり傾向が続き、中東産油国、中国、ロシア等の自国資源の囲い込みや豊富な資金を背景とした国家的な資源獲得が積極的に進められ、民間企業としての鉱区権益獲得には限界が見えてきている。実際に、本邦企業が国際競争入札に応札しても、競争相手が国営企業であったり、寡占化が進む資源メジャーであるため、落札できないケースが増えている。

ベースメタル、レアメタル等の鉱物資源は化石資源と違い、リサイクル利用が可能な循環型資源と位置付けられている。鉄、銅、アルミ、金、銀、白金など量が纏まるかまたは高価なものは国内で回収循環されているものの、インジウム、ガリウム、タングステン、タンタルなどのレアメタルは市中からの回収は手が着いていない。その意味でいわゆる「都市鉱山」の可能性はあるが、現実の活用は大きな課題である。さらに、鉄、銅、アルミ、鉛、プラスチック等は、国内よりも買値が高い中国にスクラップ輸出されており、社会ストックの流出と捉える必要もある。

一方化石資源の利用面(ダウンストリーム/下流)については、石油精製における省エネ技術や脱硫技術、重質油処理技術など日本の技術は高い水準にあり、石炭の高効率発電技術や環境対策技術も世界をリードできる立場にある。製鉄所におけるエネルギー原単位も極めて優れた水準にある。経済産業省の試算によれば、日本で現在実用化されている高効率石炭火力発電技術を米国、中国、インドへ適用すれば、それだけで現状日本が1年間に排出するCO<sub>2</sub>量に匹敵する13億トンのCO<sub>2</sub>が削減できるとされている。これらのダウンストリームの優れた技術を資源国へ展開することを資源の安全保障に結びつけることが肝要と考えられる。

現在の資源国のスタンスとしては、従来の原料輸出からより付加価値の高い精製・加工品輸出の方向に変化している。加えて、近年資源国や新興国に建設されている大型の製油所や製錬工場は安い労働力にも支えられて高い競争力を有している。それに比して、日本においては高度な

精製、改質、加工の技術は優れていても、汎用グレードのコスト競争力は低下しつつあり、今後国内で取り組まざるをえない地球温暖化対策はさらなる競争力低下につながる懸念される。

我が国の社会構造の変化としては、少子高齢化による人口減少やそれに伴う労働人口の減少、製造業が対象とする内需の減少、ガソリン等輸送用燃料や電力・ガス等エネルギー需要の減少、自動車販売台数の減少などがトレンドとして鮮明になってきている。国内のこれらの需要は減退すると予想され、事業規模の維持あるいはあらたなビジネスチャンスを求めて、日本の事業、製造拠点の海外移転を余儀なくされる傾向が強まりつつある。これらの構造変化はパラダイムシフトとして捉え、今後の国家戦略のあり方に反映する必要がある、資源の安全保障についても全く同様である。

これらを総合的に考えれば、資源国と共同で現地において上下流一体となった採掘、製錬、精製、改質を展開し、その中に日本の科学技術を効果的に活用していく方向性が見えてくる。30年先の社会の姿を見通したときに、現在の延長では国内産業の空洞化は避け難いので、経済活動維持のために、産業のグローバル化するなかでアジア地域を中心としたグローバルな視点で日本の位置付け、その戦略を考える必要がある。

## 2. 将来社会の姿

### (1) 大きな鍵となる事項

グローバルな視点に立って、資源の量的確保、循環による補填、利用効率の向上、環境負荷軽減で世界の産業をリードする技術とそれを実用化する産業を育てる。

### (2) 約30年後(2040年頃)の将来の姿

2000年代初頭以降、BRICSをはじめとする新興国の急速な経済発展に伴い資源需要が増大し、一方で資源探査の遅れも手伝って、資源枯渇が危惧することも“杞憂”といえる難しい状況となった。しかし、その後探鉱・採掘技術が進歩したことで、石油・天然ガスでは、非在来型のオイルサンド、オリノコタル、シェールガス、コールベットメタンの開発が進み、石炭では確認可採埋蔵量の上方修正がなされ、鉱物資源についても深部鉱床や海底資源の開発が進んで、世界全体として量的な需給ギャップは当分生じないであろう。日本においては、近海の海底資源開発が自国鉱物資源確保に貢献している。

数年前までは、世界的な資源生産量の増加傾向は見られたものの、資源の囲い込みや争奪戦が収束しておらず、日本もその競争の中で資源確保に奮闘していた。しかし、2010年代から取り組んだ「新総合資源・エネルギー戦略」が実を結び、現在では日本の産業競争力の源である高度加工製品の生産・輸出活動に必要な資源が十分に確保された状況にある。しかし、価格の上昇傾向は続いており、地政学的リスクや投機資金の流入リスクも収束していないため、資源の安全保障について引き続き注力していく必要がある。

一方、この 30 年間に我が国の社会構造も大きく変化した。この背景となったのは、我が国の少子高齢化に伴う労働人口の減少、内需の減少、その対極としてアジアを中心とする新興国の急速な経済成長に伴う需要の増大、雇用の増大であった。30 年前、我が国 GNP の国内比率は 50% を超えていたが、現在では海外の比率が高まり内外のバランスが逆転して、国外比率が 70% 台となっている。それに対応して、製造分野の日本企業としても、海外に勤務する社員の比率が 5 割を超えるケースが多くなっている。逆に国内で活動을続けている高付加価値グレードの製品工場においても、外国人労働者の割合が増加し、需要と供給のバランスが危惧されていた医療・介護分野でも多くの外国人有資格者が勤務して我が国の生活の安心・安全に寄与している。このように産業活動のグローバル化と相俟って人材のグローバル化も大きく進展した。

資源の安全保障としても、30 年前は製造業の拠点は国内であるとの前提の下、海外から資源・原料を輸入し、国内で精製・加工・組み立てを行って内外へ製品を供給する。それに必要な資源・原料を如何にして確保し、国内へ持ち込むかという捉え方が「安定供給」の基本であった。しかし、産業のグローバル化が大きく進展した現在においては、生の資源・原料を国内に持ち込むのではなく、資源国において資源国の産業と協力して加工した製品・半製品も含め、必要な資源・原料を海外拠点も含めた「必要な場所へ必要な形で供給する」という考え方に大きく変化した。このパラダイムシフトを前提とした「新国家戦略」が 2010 年代に策定され、前述の「新総合資源・エネルギー戦略」もそれを踏まえて策定されたことが、大きな成果を生んだと考えられている。

この新総合資源・エネルギー戦略で重要な役目を果たしたのは、「日本製資源連合」と呼ばれるグローバル競争力を有する資源調達企業連合である。商社・資源会社・メーカ・銀行等の民間企業が連合を組み、さらに、自ら資源事業が可能な政府系企業として改組された JOGMEC((独)石油天然ガス・金属鉱物資源機構)がこれに加わって、海外資源メジャーや国営資源企業と対抗できる勢力として資源確保に大きな力を発揮した。競争力強化のための重要な機能は、商業ベースの技術力に加え、資金力・資金集約力、政治力・外交力であった。

また、世界に先駆けて開発した深部資源の経済的採掘・製錬・改質技術を駆使して、資源国と共同で現地に上下流一体の生産・製造拠点を数多く作り、石炭・重質油ガス化等の高効率発電プラントや合成天然ガス製造プラント、化学品製造プラント、最新鋭製鉄所、金属精錬所なども建設し、資源系大学や資源開発・利用研究センターの共同設立、交換留学・研修制度の創設による人材育成、人脈形成を計画的に進めることにより、資源国との重層的な協力関係と相互依存関係が構築でき、資源の安定確保に結び付いた。

この資源国との重層的な相互依存関係構築において、重要と位置付けられた要素は、「産業創出力・競争力」「必要な技術、適時な科学技術の開発・活用」「人材の育成・活用」の 3 大要素であった。

また、資源国との関係構築において、その資源の特性を十分考慮する必要があった。例えば石油・ガス資源は資源国と消費国が異なる場合が多いのに対して、石炭や鉱物資源は資源国自体が大消費国である場合がある。代表格は中国、インド、ロシアである。これらの国々は自国に資源がありながら、賦存状態や品位の問題から安易な経済性比較に基づき海外から資源を輸入してい

るケースも多くあった。当然、自国資源の温存の意図も働いていた。このようなケースについては、経済的な採掘技術や製錬・加工・改質技術を日本から提供し、高効率利用技術等下流の技術提供も行って、自国資源を自国で有効に活用することによる国際産業化のメリットを資源国にもたらし、グローバルな需給緩和を実現して、日本への優先的安定供給にも繋げることができた。資源外交においては、グローバルな仕組みづくりも重要であるが、むしろ資源の特性や資源国のニーズに合わせた二国間協議が大きな成果を上げた。

資源国との取り組みの副次的効果としては、資源の生産、利用の高効率化が図れたため、資源国における地球温暖化対策の進展にも大きく貢献した。枯渇ガス田への CO<sub>2</sub> 貯留や石炭層への CO<sub>2</sub> 固定等の CCS についても徐々に実績が増えつつある。日本の技術者が数多く、資源国で仕事に従事するようになり、技術の継承のみならず日本人の勤勉さや一致団結して仕事に当たる姿勢の面でも好影響があったと資源国から感謝されている。

ベースメタル、レアメタル等の金属資源についても、日本企業の海外発電と直流送電ネットワークがグローバルに整備され電気料金が格段に安くなり、国内でのリサイクル製錬が実現した。これにより、都市鉱山を活用した国内リサイクルが飛躍的に向上し、天然資源と併せた備蓄も拡充し、一部のもは他国へ輸出して活用するなど、グローバルな資源循環システムも構築され、省資源と資源の安全保障が整備された。

### (3) 約 15 年後(2025 年頃)の社会像、成果

探鉱・採掘技術の進歩に合わせて、各資源の確認可採埋蔵量は着実に増えつつあるが、資源の囲い込みや争奪戦は続いており、一部の資源については、安定調達に不安が残るものもある。ただし、新総合資源・エネルギー戦略の下で民間資源関連企業の再編、集中化による企業体力強化も実現しつつあり、機能性、商業収益力も強化されて JOGMEC の国際的影響力が増してきたことから、資源権益の確保が進み、現在では日本の産業競争力の源である高度加工製品の生産・輸出活動の停止リスクが生じないレベルで資源が確保された状況にある。

日本企業の海外進出が拡大し、製造拠点が資源国、大消費国、国内に分散して、それぞれ必要な資源・原料の形も棲み分けられてきたため、安定供給の考え方も変化しつつある。

資源国との共同経営の上下流一体型生産・製造拠点も中東、ロシア極東地域、中国東南アジアにそれぞれ 1~2 箇所開設し、一方カナダ、ベネズエラには日本の技術協力で完成した拠点が稼働し始めている。石炭・重質油ガス化等の高効率発電プラントや合成天然ガス製造プラント、最新鋭製鉄所が豪州、中国、インドネシア等で商業プラントが動き始めている。資源国と共同で設立した資源系大学や資源開発研究機関も計画的に増加している。多くの資源国との二国間協議も頻繁に行われ、民間企業もそれに連動した活動を強化したことにより、資源国との重層の関係が構築できつつある。これらの取り組みで、更なる安定供給の基礎固めが見込めるようになった。

各企業の海外進出が大きく進展し、我が国 GNP の国内外比率も海外の比率が 60%台まで上昇している。海外での資源ビジネス拡大が社会でも認知され、資源技術を目指す優秀な人材を国内外から引き付けた結果、省庁の連携協力もあって強力な大学資源講座を必要数設置し、海外留

学制度も充実させ、海外で活躍できるグローバルな教育機関として人材の育成システムが整った。

産業インフラの面では、経済のグローバル化に合わせて電力供給のグローバル化も検討され、日本の効率の高い発電技術を海外に展開している。日本企業が海外で発電し、海底ケーブルによって国内へ直流送電を行うシステムの実証試験が進められている。この直流送電ネットワークが完成して、国内で安い電気が使用可能となれば、各製造業の国際競争力が高まる他、資源の面でも金属のリサイクル製錬が国内に実現し、資源ストックの向上にも貢献するものとして大きな期待が寄せられている。

### 3. 目標とする将来への到達の道筋

#### (1) 重点的に取り組むべき研究開発課題

- (a) 今後に向けて資源に係わる大きな命題は、新興国の急速な経済成長を考慮した需給バランスの維持と地球温暖化対策をはじめとする環境制約増大への対応である。かつ、資源小国たる日本にとっての資源の安全保障を実現するためには、それらの命題の解決策となる科学技術を開発して商業化することで、技術・産業で世界をリードすることが求められる。

需給バランス維持の面では、超深度資源、海底資源、非在来型資源の開発・利用、金属資源の循環利用、化石資源の利用効率の向上が有効であり、環境面では、生産・利用時のCO<sub>2</sub>の抑制、有害物の抑制・無害化等が重要となる。

具体的には、以下の課題に継続して取り組む必要がある。

- ①超深度資源、海底資源の経済的採掘・製錬技術
- ②経済性を考慮した金属資源のリサイクル技術
- ③石炭・重質油ガス化技術とCCSの組み合わせシステム
- ④油層・ガス層・炭層へのCO<sub>2</sub>圧入による資源回収技術
- ⑤超重質油改質技術(オイルサンド、オリノコタール等)

従来、日本は原料・資源を海外から輸入し、国内で精製・改質・加工して製品を国内外に供給するビジネスモデルを基本としてきたが、今後は低位品位資源(低品位鉱石、低品位石炭/亜瀝青炭、褐炭等)の活用や自噴しない石油資源(オイルサンド、オリノコタール等)の活用、排出するCO<sub>2</sub>の回収・固定(CCS)を考えると、資源国と共同で現地において採掘・生産から利用までを行う上下流一体型ビジネスモデルを構築するべきである。従って、開発する技術も実施フィールドが海外になる場合が多いことを前提とする必要がある。

- (b) 新たに重点化すべき課題としては、未調査地域の資源開発や採掘以外の方法で資源を取り出す方法、国を超えたレベルでの資源循環システムなど発想を転換した取り組みが重要となる。具体的な新規重点課題を以下に示す。

- ⑥南極・北極・アフリカ等未調査地域の調査と経済的採掘・製錬技術
- ⑦石炭・超重質油(オイルシェール)の地層内ガス化技術
- ⑧グローバルな視点での資源循環技術(システム)

ここで、⑧については廃家電・電子製品からのベースメタル、レアメタルの回収や石炭灰(フライアッシュ)の有効活用を、国を超えて行うことが重要となる。

## (2) 重点的に取り組むべき基礎研究課題

- (a) 上記①については、超深度資源のための探査・計測、採掘、分離、濃縮、回収・精製技術がキーテクノロジーとなる。このうち、分離、濃縮、回収・精製技術は、②のベースメタル、レアメタルのリサイクルに対しても鍵となる。③については、ガス化技術自体はほぼ実用レベルに達し、実証段階にはいっているので CCS に関する基礎研究が重要となる。具体的には、CCS の環境影響評価を行い、CCS の安全性を科学的に示す必要がある。CCS のコスト削減については、効率的な分離・回収技術の確立が重要となる。④については、石油とガスの更新回収は既に実施されているので、炭層からのメタン回収技術が研究対象となる。また、金属製錬時や化石資源利用時に発生する有害物(有害金属、NO<sub>x</sub>、SO<sub>2</sub>、煤塵等)の無害化、除去技術も重要となる。
- (b) 新たに重点化すべき課題としては、今後採掘深度が超深度化するにつれ、高温・高圧の条件になるため、その条件に耐えうる探鉱・採掘機械、材料の開発が必要になる。特に、ロボットや遠隔通信・制御、計測、それらに付随するデータ処理技術が重要となる。また、実施フィールドが途上国となる場合も多いので、その地域でも適用可能な環境対策技術や資源リサイクル技術、有害物無害化技術を検討する必要がある。
- (c) 近年注目されているメタンハイドレートについては、2040 年までに資源としてカウントすることはできないが、数少ない国有資源として貴重なものとする。メタンの漏洩無しに安全に、しかも経済的に取り出す技術の開発は相当ハードルが高いものであり、安易な期待を寄せることは適切ではないが、日本が保有する貴重な資源として研究開発を進めるべきと考える。また、将来における太陽系地球の究極的資源の利用技術として、火山、深海、太陽等の利用も検討する必要があるかもしれない。

## (3) 人材育成・確保

国内鉱山が斜陽となって以来、大学等での資源技術者の育成システムも崩壊し、教員の数も減っており、今後に向けて大きな課題となっている。さらには、資源技術者を目指す若者自体も減少しているのが実態である。

先に述べたように、今後は資源国において上下流一体の取り組みを行う必要がある。そのため、海外でも活躍できる人材の育成が急務である。必要となる人材像としては、世界、相手国のニーズを的確に掴み取り、ニーズの実現に向けた方法を立案・説得でき、かつそれを実行するための組織を構成できる中心的人材とサポート人材である。分野としては、地質工学、物理探査、油層工学、採鉱工学、冶金工学、資源工学などである。上下流一体で取り組むためには、これに、化学、機械、

プロセス、情報処理などの専門性を持ちつつ、石油、ガス、石炭の知識を有した技術者を育てる必要がある。

現在世界を代表する資源系大学としては、Colorado School of Mining、Stanford、Ecole Superior Mining、Royal School of Mining などがあるが、資源開発のフィールドが無い日本においてこれらに匹敵する大学を育てていくことは容易ではない。しかし、上記4大学も必ずしも資源現場に隣接しているわけではなく、肝要なことは、我が国において世界的視野で人材を育成する仕組みと精神を如何に実現するかだと考える。

国策として特定の大学に資源系講座を設け、「国際資源大学校」のような資源系大学としての専門教育システムを強化する。それと併せて、海外留学制度と海外鉱山研修制度を導入する。この中で、学生の育成のみならず、教員の育成や海外教員の獲得も実施する必要がある。その資源系大学は日本のみならず主要な資源国にも相手国と共同で設立して、相手国学生も一緒に学ぶ環境に置き、将来に亘っての人脈形成にも役立つ。探査・採掘等の上流部分については、資源国の現場で教育し、精製・加工・改質・利用等の下流部分は日本において行うなど、資源国と一体となったカリキュラム作成が有効である。

大きな施策としては、世界から優秀な人材を獲得するために、海外から資金を得て学生の支援を行い、かつ研究活動を「仕事＝労働」と位置付けて奨学金(労働対価)を支払う仕組みが必要と考える。この資金の一定割合は日本政府が負担することを考えることも重要である。

また、大学の他に、資源国と共同で「資源開発・利用研究センター」のような研究機関を設立することが有効と考える。今後は、下流部分において環境制約の高まりやナノテクノロジーの進展などマーケットのニーズも大きく変化することが予想される。これらの変化は、資源の価値そのものに影響し、探査・採掘・製錬等の上流の技術や資源リサイクル技術にも大きく係わってくることから、上下流一体の捉え方が益々重要となる。この観点は、日本の科学技術力を最大限に活かす意味からも重要である。人材、研究開発も産業化の必須な基盤であると同時に、それ自体が国際競争下にあるビジネスの一つであることを強く認識しておかなければならない。

#### (4) 融合・連携の必要性

資源国において上下流一体の事業を相手国と共同で実施するのに併せて、資源開発を目的とした ODA の運用を期待したい。また、未利用資源の調査・開発においては、南極等で取り組む場合、各国の国際連携が不可欠となる。一方、金属資源や石炭灰のグローバル循環利用を行うためにはバーゼル条約(有害廃棄物の国境を越える移動及びその処分を規制)の効率的運用、非批准国については OECD 加盟が必要となり、対応する国内法として廃掃法(廃棄物の清掃および輸送に関する法律)の緩和が不可欠となる。

レアメタルの分野については、ナノテクノロジーの進展や安定供給が見込める物質や材料での代替技術の開発が関連するため物性物理分野との連携が重要となる。

#### (5) 改革や導入が必要な社会システム・制度・マネジメント等

前述の融合・連携と重複するが、国策による鉱山・製錬・精製に係わる海外投資（実際にはJOGMECを改組し、政府系企業として自ら事業を遂行）とODAの資源開発目的運用を期待したい。また、「日本製資源連合」を育てるためには独占禁止法を改正、国際化する必要がある。国内市場を対象とする事業ではなくなることから、市場独占性の物差しも変える必要があると考える。さらに、本邦企業の国際競争力強化のためには、税制改革の中で法人税の国際水準までの引き下げも必要である。

資源の社会的ストックの面では、現状石油の備蓄がそれに当たるが、ベースメタル、レアメタルについても備蓄制度の導入や重要メタルを含有する廃家電・電子製品の輸出制限も検討する必要がある。

人材育成面で、国内外に設立する資源系大学における留学支援制度や研究開発への貢献に見合う対価（奨学金）を支払う制度の導入を希望する。

シナリオの中に、本邦電力会社による海外発電と国内への直流送電ネットワークの構築を謳ったが、これを実現するためには電気事業法等の電力関連法の改正も必要となる。また、CCSについては、国内に有望な貯留サイトが少ないため基本的には海外での実施ケースが殆どであるため、常にグローバルな視点で考えなければならない。CCSの開発コストと運用コストは経済原理の中で回収が困難なため、低価格にCCSを実現するための技術開発と同時に、低炭素社会構築のための社会コストと位置付ける必要がある。

#### (6) 科学技術政策と他の政策との関連（政策連携等）

環境政策、産業政策、外交政策と関連が深い。特に、海外技術者も含めて資源国と共同で人材育成を展開する必要があるので、科学技術外交策においても重要な分野である。

#### (7) 産業・ビジネス・雇用の創出、科学技術と社会目標とのギャップ・橋渡し

資源国において上下流一体の事業を展開することから、海外において大量の雇用が発生することは明らかである。国内産業が海外に移行する流れは海外に要素があれば変えられないが、一般グレードの海外製造、高付加価値グレードは国内製造など役割を的確に分担すると共に、海外発電／直流送電ネットワークの導入などで国内での用役コストを下げ、金属資源の国内リサイクル製錬の復活や次世代自動車の国内製造増強も国際競争力の維持強化にとって不可欠である。

資源の安全保障は暮らしの安全につながる重要テーマであるが、化石資源の利用は環境負荷軽減の観点からは制約を受ける。従って、高効率利用技術やCO<sub>2</sub>削減技術も取り入れて、環境に配慮した取り組みが重要である。

#### (8) 人々の価値観やライフスタイルの変化、社会受容等

資源国と共同での取り組みやアジア域内での資源循環が基本となるため、グローバル化に対応した意識付けが必要となる。我が国GNPの国内外比率も海外比率が高まり、30年後には70%台に

達すると予想する。つまり、海外で働く日本人が増加すると共に、国内で働く外国人が増加する。雇用と賃金もグローバル化すると考えるべきである。

EU に見られるように、アジア同一経済圏の考え方が必要となり、いずれは通貨統合も視野に入れて考える必要がある。

#### (9) 国際的視点

繰り返し述べた通り、資源の安全保障＝産業グローバル化と捉える必要がある。資源国との重層的な協力関係と相互依存関係を構築することが不可欠であり、その鍵を握るのが世界をリードする科学技術の研究・開発・商業化を三位一体とした推進である。従って、グローバルな視点なしに、教育も研究開発も行えない。また、アジア域内での資源循環の考え方も重要である。人材育成の観点でもグローバルに活躍できる人材の育成が極めて重要である。

#### 【参考資料】

- [1] 持田勲、大平竜也、「石油・天然ガス資源の探査・開発・生産に関する技術開発の動向」、科学技術動向、p30-41、No.59(2006.2)
- [2] クリーンコール部会中間報告、経済産業省資源エネルギー庁(2009)

#### (アドバイザー)

持田 勲 九州大学炭素資源国際教育研究センター 特任教授

# 暮らしの安全が保障される日本

## 化石資源・鉱物資源の安全保障

安定供給の概念変更

原資源の輸入→資源・製品の国内外適所供給

グローバルな視点に立って、資源の量的確保、循環による補填、利用効率の向上、環境負荷軽減で世界の産業をリードする技術とそれを実用化する産業を育てる。

**継続重点課題**  
超深度資源の経済的探掘・製錬技術、石炭・重質油ガス化技術+CCS、超重質油改質技術、経済性を考慮したリサイクル技術

**新規重点課題**  
未調査地域資源に適用する探鉱・掘削技術、石炭・超重質油の地層内ガス化技術、グローバルな資源循環システム

**目的型の基礎研究**  
深部資源のための探査・計測、探掘、分離、回収技術、CCS  
環境影響評価、レアメタル代替技術、有害物無害化技術

**新たな基礎研究**  
高耐久性機械・材料、ロボット、通信、計測に関する技術、  
途上国に適用可能な資源リサイクル・有害物処理技術

**人材育成策**  
資源系大学の強化、資源系海外留学制度、教員養成、海外教員獲得、国際資源大学校強化、海外鉱山研修制度、資源国での研究機関設立強化

**政策間連携**  
科学技術/環境/産業/外交  
省庁・民間プロジェクトチーム、  
ODAの目的別運用

改革 or 導入が必要な  
社会システム・概念  
独占禁止法、廃掃法、バーゼル条約運用  
電気事業法、地上資源ストックシステム、  
法人税、縦割り行政

国際競争・国際協調

資源外交、鉱害防止技術、インフラ整備、  
教育システム、グローバル電力ネットワーク

## 世界最高水準の生活セキュリティ: 減災型社会の実現

リーダー 京都大学 多々納 裕一  
京都大学 大志万直人  
京都大学 澤田 純男  
京都大学 中北 英一  
京都大学 堀 智晴

### 1. 本テーマに関わる将来の姿

#### (1) 大きな鍵となる事項

都市の安全性の見える化の促進と生活安全性診断・処方箋の提示

#### (2) 約30年後（2040年頃）の将来の姿

様々な地物に取り付けられたセンサにより都市がセンサネットワーク化され、ユビキタス環境が構築される。優れた情報セキュリティ機能を有するこのネットワークを介して、環境側であるセンサノードから住民に働きかけることが可能となり、平常時のインフラ管理や災害時の人間行動にも有益な情報を提供できるようになる。このような情報インフラのもとで、ウェアラブル端末や携帯端末などを用いた人工現実感(AR: Augmented Reality)等が一般化し、実空間上に属性情報をマッピングすることが普通になっている。災害に対する脆弱性等の情報も実空間上にマッピングされることが普通になった。このため、災害に対して脆弱な建物や構造物は利用の用途が限られる状況になっている。災害に対して脆弱な構造物は流通しなくなり、都市内の構造物の大半が十分な耐災害性を有する安全な構造物に更新されて、住民の多くは安全な住まいに居住している。ライフライン等のインフラの災害における可用性も格段に向上しており、災害時におけるライフラインの機能停止による影響は限定的なものとなっている。万一、供給停止に陥った場合にも、回復度を重視した設計が採用され、回復速度は格段に増している。

気象災害等に関する予測技術の進歩等によって、住民の適切な対応行動が促され、洪水や台風等での死者は発生しない状況となっている。しかしながら、気象変動の影響のためか、大規模な台風や集中豪雨、長期の無降雨期間等の極端な気象現象の頻度は増加しており、洪水や渇水の発生頻度が増えているようである。

災害発生時においては、被害状況は人工衛星や地上センサネットワークを用いたリアルタイム被災判定システム等によって伝達され、初期対応が迅速に実施される。

### (3) 約 15 年後(2025 年頃)の姿

トモグラフィ技術の発達等によって、建築物、インフラを含む各種構造物の内部欠陥を破壊せずに発見する技術が普及する。同時に、この技術は地殻構造の不均質性を把握するためにも利用され、地殻のひずみや変形の蓄積状況が把握され、地震予測の高精度化が可能となっている。

地下構造や構造物、インフラの災害特性等のデータベース化が進み、GIS 等を通じてその共有化が進む。AR のような実空間上にこれらの情報をマッピングする技術が一般化し、都市住民はリアルタイムで災害に対する脆弱性を把握できるようになる。

インフラ相互間依存性の解析が進み、インフラ間の垣根を越えた統合型リスク管理システムの導入によって、重要インフラの災害時における可用性が飛躍的に高まる。

災害発生後の被害状況は人工衛星や地上センサネットワークを用いたリアルタイム被災判定システム等によって伝達され、初期対応が迅速に実施される体制が整っている。

各種センサの超小型化が進み、小電力無線通信ノードによるアドホックネットワークと結合し、ローカルな都市診断ネットワークが作られる。このネットワークはインターネットにつながることで都市診断結果がオンデマンドで獲得可能となる。時空間情報として蓄積された都市診断結果は、多様な形態に進化した携帯情報端末を通してAR等の技術を応用して、現実世界上に見える化がなされる。

高精度・高鮮度に整備された基盤地図情報と、GPSや無線通信網を用いた位置測定の技術の高度化によりいつでもどこでも地理空間情報の取得が可能となり、被災者、被災建物の地理空間情報の存在を前提としたリアルタイムの災害対応が可能となっている。

## 2. 目標とする将来への到達の道筋

### ➤ 重点的に取り組むべき研究開発課題

- ・ 継続して重点化すべき課題としては、第一に被害軽減のための技術開発を挙げることが出来る。E-Defenceをはじめとして、実大構造物破壊実験が行われ、被害軽減のための技術の効果が実験によって確かめられたり、その改良が図られたりしている。今後は、実験をシミュレーションによって置き換えることを可能とする大規模構造物シミュレーション等をはじめとするシミュレーション技術の高度化(E-Simulation等)や、計算機資源の高効率化等が求められるであろう。
- ・ 被害軽減のための技術開発のためには、災害現象やそのプロセスの解明と災害シミュレーション技術の発展が欠かせない。例えば、地震を例に挙げれば、地震の現象そのものの理解の進展が少なくとも地震被害の事前予測に役立てられている。これは、観測・実験データに裏打ちされた強震動予測や構造物の被害予測などの技術の進展によって、地震被害想定や構造物のライフラインの合理的設計が進んで来ている。
- ・ しかしながら、既存構造物に目を移せば、その耐震安全性を的確に知ることすら十分に出来

ていない状況にある。トモグラフィ等々の非破壊検査に代表される構造物の内部の状況を把握する技術の更なる発展が極めて重要である。このことは、**震源過程や地殻構造、地盤等**にも当てはまる。**衛星・GPS等による地表面変形のモニタリング**を継続することはもとより、より適切な予測を実現するためには、これらの**不均質構造を正確に知るための探査技術**の進展とそれを反映することを可能とするシミュレーション技法の進化が必要である。このため、これらの領域における研究は今後とも継続的に取り組む必要がある。**(高精度探査技術の開発)**

- 一方、洪水や渇水等の気象関連災害に目を転じれば、地球温暖化に伴う**気象変動**等の可能性を受け、減災の考え方をより一層取り入れた計画や整備が求められる。河川の安全度を定め、ある一定水準までの洪水を安全に流下させることを中心に据えた計画整備から脱却し、超過外力と言われている洪水も考慮の対象とした対策が求められている。このような対策を実施するためには、河川内の構造物によるハードな対策に加えて、**流域内対策や情報提供、土地利用の規制・誘導等の対策**が必要となる。このような対策を検討実施していくためには、水文データ、河道データや標高データ等の地形データ、それに加えて被害を受ける対象である地物のデータ等を下に、**統合的な水害シミュレーション**を実施して、地先リスクを評価すると共に、対策の効果を評価し、適切に対策を実施していくための分析を行う必要がある。
- また、リアルタイムに水害の危険を把握し、適切に情報提供を行うためには、降雨の時空間分布やその変化傾向等を分析することが重要となるため、**レーダー等の情報を用いた降雨のシミュレーションモデル**等の開発が重要である。
- **防災情報システムに関する研究**も継続的に推進されるべきであり、とりわけ、各種センサの超小型化、アドホック無線通信技術の進歩とインターネットとの結合、携帯情報端末の多様化・三次元化、自己位置把握技術の高度化、空間情報活用技術の高度化、情報セキュリティの強化等が求められる。

➤ 新規重点研究開発課題

- 新たに重点化すべき研究・技術開発課題としては、まず、**地球観測データベースの整備**を挙げることが出来よう。このデータベースは、地殻、地形、地盤、地物、水文等の分野の観測データを統合的に管理し、相互利用を可能とするもので、国家的な観点からの整備が望まれる。
- 被害軽減のための技術開発を継続する一方で、**社会システムの回復力を高めるための研究・技術開発(しなやかな回復力を持つ社会システム)**が必要である。しなやかな回復力を持つ社会システムとは、自然災害等が発生し、被災したとしても迅速な機能回復が可能な社会システムを指す。このためには、比較的短期の地震や洪水等の災害を予測し、初期対応を用意するような災害予知システムに関する研究から、不確定性の高い外乱に反応しにくいロバストな構造物、回復の容易なライフライン設計、業務継続管理(BCM)、重要インフラの相互依存性分析と回復戦略、災害リスクファイナンス、人間・社会復興のための人文社会学的研究等、分野横断的で総合的な取り組みが重要である。
- このようにして、蓄積された知識や情報、さらには、高精度・高鮮度基盤地図や都市のセンサ

ネットワーク等を背景として、防災情報をユビキタス化された情報ネットワーク上に展開することが必要である。これをユビキタス防災情報システムと呼ぶ。このためには、統合型災害シミュレーション等の技術開発、時空間GISを利用した地先のリスク評価・意思決定支援システム等の研究開発が必要となる。災害時の避難行動を適正に誘導することを可能とするような環境から人間への情報提供も可能となる。<sup>6</sup>

➤ 目的型の基礎研究課題

- ・ 上記の目標を達成するためには、真理探究をめざした純粋基礎研究のみでなく、発見される真理が、減災社会の実現に寄与するような目的型(問題解決指向型)の基礎研究が重要である。広範にわたる課題が多くの分野に存在するが、以下ではいくつかの学問領域における目的型(問題解決指向型)の基礎研究を列挙しておく。
  - 不均質構造と地震災害のメカニズムの解明<sup>8</sup>
  - 気候変動・社会変動に伴う災害の変容メカニズム
  - 災害復興のメカニズム
  - 災害リスクガバナンス

➤ 人材育成・確保(どのような人材が、どの部分に必要なのか)

災害科学及び総合防災学の双方に深い知識を有する実践・研究者、防災情報システム研究者・事業者、科学ファシリテータ、起業家等が有機的に関与しうる仕組みを創生する必要がある。このためには、若手研究者育成のための研究奨学金制度、文理融合研究の奨励、科学ファシリテータ・プロジェクトマネージャの育成、防災システム技術の輸出奨励策等の施策が必要である。

➤ 融合・連携の必要性(融合・連携すべき分野・領域、システム化等)

自然災害科学、人文社会科学、工学、情報学等の連携研究、連携研究を推進するための仕組み作り

➤ 改革や導入が必要な社会システム・制度・マネジメント等

情報セキュリティ技術の発展、都市センサネットワーク化・ユビキタス化を可能とするICT技術の発

---

8 例えば、地殻内3次元不均質構造の稠密総合探査技術の開発、地殻深部不均質構造における応力集中要因抽出に関する研究、地殻内流体の分布およびその流動性に関する新規検出手法の開発、巨大地震と火山噴火の連動性に関する研究、潜在地震断層面上の各種不均質性把握高度化のための手法開発、震源の不均質モデル化のための動的震源シミュレーション手法の開発、マルチスケール地震動シミュレーション手法の開発、海溝型巨大地震の特性化震源モデルの開発、不均質・ばらつきを含む構造物の高精度破壊予測構造部材、システムの非線形動的挙動における不確定性の把握、実大構造物の内部欠陥の可視化技術(実大構造物規模のCTスキャン)、構造物の不均質・ばらつきを含む安全余裕度の把握、マルチスケール・マルチフィジクス実験・解析手法の開発不均質地盤における液状化シミュレーション手法の開発

展、災害脆弱性情報流通の仕組み(住宅売買時の災害リスク情報周知の義務化)、災害対策に関する責任の所在の再定義、社会防災力強化のための制度枠組み

➤ 科学技術政策と他の政策との関連(政策連携等)

国土、環境、産業等の各分野での連携が必要である。また、防災システム技術の輸出促進や国際協力等の場面では外交が重要となることは論を待たない。

➤ 産業・ビジネス・雇用の創出、科学技術と社会目標とのギャップ・橋渡し

情報提供を徹底的に推進することで、中古住宅市場等での売買に災害に対する脆弱性が参照され、物件価格や保険料等も連動する仕組みを作り上げる。このことによって、災害安全性の市場化が実現し、安全性の改善の効果が適切に市場価値化されることになる。そうなれば、災害に対する安全性の拡大を実現する産業群は適正な利益を得ることが可能となり、その育成への道も開けると考える。

➤ 人々の価値観やライフスタイルの変化、社会受容等

ともすれば、災害対策に関する責任の所在を再定義し、個人が追うべき責任の範囲を拡大することが必要であろう。併せて、社会防災力強化のための制度枠組みを拡充し、地域が自律的な意思の下で、災害に対処していけるような素地を拡大することが重要である。

➤ 国際的視点(国際協調、国際競争、世界の一員としての視点、東アジアの視点、等)

防災・減災に関する国際ネットワークへの日本のより積極的な貢献・リーダーシップの発揮、気候変動の影響をより大きく受けるアジア発展途上国の防災システム作りへの寄与、国際的水資源マネジメントに関する公共ビジネスモデルづくり、地域防災に資する高度な実務家の養成等が求められる。

## 暮らしの安全が保障される日本

### 世界最高水準の生活セキュリティ: 減災型社会の実現

#### 都市の安全性の見える化の促進と生活安全性診断・処方箋の提示

##### 継続重点研究課題

- 被害軽減のための技術開発(実大構造物破壊実験等を含む)
- 高精度探査技術の開発(衛星・GPS等による地表面変形のモニタリング、構造物の内部探査、地盤・地殻の不均質構造)
- 災害プロセスの解明と災害シミュレーション技術の高度化(地殻変形、構造物崩壊挙動、広領域地震動、広域水害、気象変動予測、社会経済影響)

##### 新規重点研究課題

- 地球観測(地殻、地形、地盤、地物、水文)データベースの整備
- しなやかな回復力を持つ社会システム(ロバストな構造物、リスク評価に基づく回復の容易なライフライン設計、BCM、重要インフラの相互依存性分析、災害リスクファイナンス)
- ユビキタス防災情報システムの開発(高精度・高鮮度基盤地図の整備、都市のセンサーネットワーク化・ユビキタス化、時空間GIS、統合型災害シミュレーション、地先のリスク評価・意思決定支援システム)

##### 目的型の基礎研究

不均質構造と災害のメカニズムの解明、気候変動・社会変動に伴う災害の変容メカニズム、災害復興のメカニズム、災害リスクガバナンス

##### 新たな基礎研究

実践科学(Implementation Science)

##### 政策間連携

科学技術/国土/環境/産業/外交

##### 人材の育成・確保策

若手研究者育成のための研究奨学金制度、文理融合研究の奨励、科学ファシリテータ・プロジェクトマネージャの育成、防災システム技術の輸出奨励策

##### 改革・導入が必要な社会システム・制度

情報セキュリティ技術の発展、都市センサーネットワーク化・ユビキタス化を可能とするICT技術の発展、災害脆弱性情報流通の仕組み(住宅売買時の災害リスク情報周知の義務化)、災害対策に関する責任の所在の再定義、社会防災力強化のための制度枠組み

##### 融合連携の必要性

自然災害科学、人文社会科学、工学、情報学等の連携研究、連携研究を推進するための仕組み作り

##### 国際貢献

防災・減災に関する国際ネットワークへの日本の寄り積極的な貢献・リーダーシップの発揮、気候変動の影響をより大きく受けるアジア発展途上国の防災システム作りへの寄与、国際的水資源マネジメントに関する公共ビジネスモデルづくり、地域防災に資する高度な実務家の養成

## 信頼できる社会の基盤

リーダー 駒澤大学 飯田 泰之  
株式会社シドス 荻上 チキ  
株式会社シドス 芹沢 一也  
慶應義塾大学 西田 亮介

本シナリオでは、我々の実感としての安心・安全・信頼を支える重要な構成要件である治安・コミュニティ・メディアについて、その現状と将来像を明確化するとともに、三者間の相互補完的な扶助を通じて達成されるべき望ましい未来への工程表を描く。

### 1. 将来社会の姿

#### (1) 30年後に目指すべき理想の将来

超長期的に犯罪に対して適切に対応していくためには、社会的基盤の整備が欠かせない。30年後には現在ボランティアに依存する保護司制度から、なんらかの経済的基盤を持って犯罪者の社会復帰を支援していけるような仕組みが案出されるだろう。しかし、これらの全てを制度的な改変のみで処理することは出来ないだろう。そこで必要となるのがテクノロジーの活用ということになる。

メディアの改善においてもテクノロジーの果たす役割は多い。ネットメディア、ネットコミュニティにおける本人確認システムは現在相当程度進んでいるが、プライバシーと本人確認を同居させるシステムの構築によってネットコミュニティは、その技術的側面において、さらに有効なものになっていくことになる。

その一方で、治安・社会の問題を取り扱う際には技術のみでは解決できない面も残される。現在の日本でも地域通貨や地域 SNS(ソーシャルネットワークシステム)、創造都市の取り組みが進行している。しかし、いずれも欧米で成功した事例をそのまま日本に持ち込んだ取り組みが中心で、いずれも期待された効果を得ていない。欧米の社会的環境、もしくはソーシャルネットワークに依存している仕組みを日本の社会的環境に導入することには限界があるだろう。その意味で、日本独自の取り組みとしてのコミュニティの活用が考案されるか否かにより30年後の日本の姿は大きく違ったものになるだろう。

#### (2) 15年後の安心社会

30年後の長期的な目標・予想への中継地点が15年後の姿である。

治安(意識)・コミュニティ・メディアの有機的連帯が強化されていくことで、より事実に基づいた、より偏見のない社会が築かれていく必要がある。犯罪が完全に消滅することはあり得ない。15年後には、犯罪の根絶という画餅的な方針から犯罪への対処方法をよりよい形に変えていく方針へと転換が進むであろう。そのための短期から中期的な目標は、メディアの犯罪報道、犯罪被害者感情がその柱となるだろう。メディアにおける犯罪報道が統計的な事実に基づくものとなり、それに伴っ

て「犯罪と上手に向き合うことができる社会」が構築されることがそのための第一歩である。

犯罪への不安の少なからぬ部分は需給両面でのメディアリテラシーの不足から発生している。したがって、メディアリテラシーの拡充が必要とされる。具体的には初等教育・中等教育段階でのニュース・情報に関する処理・受容能力の養成が必要とされているのである。その整備が急速に進むことが15年後の望ましい世界である。

コミュニティについてはコミュニティ活動を支える基盤整理が進むものと考えられる。有志がコミュニティを形成しようと試みるために、十分な経済的、もしくは感情的、その他のインセンティブが働くような制度設計、制度構築がなされていくことが必要である。

## 2. 目標とする将来への到達の道筋

### (1)現状分析と重点的・優先的に取り組むべき課題

#### ①治安と犯罪を巡る現在の問題・課題

信頼できる社会の基盤という観点から犯罪の問題を語るときに重要な論点が、報道問題・被害者問題・防犯問題の3つである。

犯罪学者にとって日本の治安は極めて良好だというのが周知の事実である。しかし、一般には治安が悪化したという思い込みが定着している。その原因がメディアである。アンケート調査においても治安が悪化したという意識は「テレビや新聞で犯罪の報道をよく見るから」との回答が多い。そのような誤った観念の広がり、具体的な刑事政策の形成に負の影響を与えていて、結果として、効果的、あるいは効率的な刑事政策の導入を妨げている。

第2に日本では刑事司法・メディア両面において、さらには社会的にも「犯罪被害者」は無視されてきた。この流れに変化が始まったのが90年代である。日本被害者学会の設立、警察庁を中心とした行政側のケア、全国被害者支援ネットワーク設立がその一歩である。

一方で、治安悪化という誤った観念が流布しており、他方で、犯罪被害者の発見がもたらしたインパクトによる厳罰傾向が強まっている。その結果、社会においては「防犯意識」がかつてなく高まってきている。そうした中で監視カメラの設置などが進んでいる。しかしながら、各種防犯設備の設置において犯罪学的な知見は全く無視されているといつてよい。例えば監視カメラは、駐車場の車上荒らしに効くというデータはあるが凶悪犯罪の発生には基本的に効果がない。凶悪犯罪の発生に対しては、街頭を増やす等の措置が有効であることが示されているが、街頭の増設は進んでいない。

治安における「社会」のもう一つの論点は受刑者の社会復帰の問題である。現在、保護司が高齢化している。あるいは後継者不足になっていて、保護観察制度が根底から揺らいでいる。つまりコミュニティが犯罪者を受け入れる基盤が急速に失われている。さらに仮出所者というのは、保護観察制度の対象になるが、満期出所者の場合は対象にならない。そのために社会復帰が阻害されているといった問題がある。

自治体の自立更正促進センターなどを整備しようとしているが、そういったセンターをつくること自体が、厳罰意識が高まった地域では難しくなっている。

## ②安心と安全を支える基盤としてのコミュニティ

コミュニティのなかでも治安や犯罪の問題に関わりが深いのが地域コミュニティである。現在、日本の地域・地域コミュニティは主に4つの問題を抱えている。

1 つ目が、少子高齢化と過疎化の進行。2 つ目が、地域小売業、商工業の衰退。3 つ目が多様な国土像の消滅、つまりは都市計画による地域の画一化。4 つ目はコミュニティ形成の担い手の不足である。

少子高齢化と過疎化の進行については、2009年11月現在65歳以上の人口が22.6%に対し、15歳未満の人口が13.4%であるというマクロ的な状況がある。さらに、人口減少率が30%以上、もしくは人口減少率が25%以上で、1995年時点の高齢者比率が24%以上、もしくは人口減少率が25%以上で、若年者比率が15%以下という過疎定義に当てはまる自治体が2009年4月現在で全市町村の41.1%にあたる730の市町村に上る。

次いで、かつて地域コミュニティの大きな担い手であった商店街もその停滞が甚だしい。しばしば指摘される大型商店街・ショッピングセンターの本格的展開以前よりこの停滞は始まっており、どういった原因で商店街が廃れていったのかに関しては専門知の集積が進んでいない。

さらに地域コミュニティの希薄化を進めた要因として、画一的な都市計画、特にニュータウン型新興住宅地域の増加が指摘される。ニュータウン型新興住宅地域の中核的な役割を果たすのがショッピングセンター(駐車場を兼ね備えた小売業を中心にコミュニティ、娯楽、商業、サービス機能を備えた多店舗集合体)である。町づくり三法の規制緩和によって、ショッピングセンターは1999年の1202から2008年には2980にまで増加している。

第4の論点である地方分権については、その推進の理由から考える必要がある。自治体の直面する問題が多様化する一方で、行政のリソースは不足していたため、地方の問題は地方で解決した方が効率的だとの主張が多くなった。橋本政権以降、小泉政権の中で加速度的に、三位一体の改革、特に国庫負担金の話、財源の委譲、地方交付税の見直しが中心になって進行した。今政権を担っている民主党の1つの柱に地域主権国家ということがあって、今後も地方分権化が推進されていくことになるだろうがその歩みは緩慢である。このように以上の4つの問題が進行している。

## ③社会の空気を作るものとしてのメディアの現状

メディアの現状を語る場合には「メディア」を二つに分ける必要がある。一方はマスメディアであり、他方はネットメディアである。マスメディアの問題点が典型的に現れているのが犯罪・治安問題であり、その改善のためにマスメディアを巡る状況の改善が求められる。その一方で、衰退する地域コミュニティの補完、時に代替物としてネットワークメディアに注目が集まっている。

マスメディアの供給側の問題点はエビデンス(証拠・データ)に基づかない報道の存在であり、クロスオーナーシップ(視聴者ではなくスポンサーが顧客であること)による論調のカスケード(集約化・画一化)である。一方、需要側に関してはリテラシーの教育の問題がある。日本においては、リテラシー教育をするカリキュラムが欠如している。例えばイギリスは、国語教育というのは、ほぼメディア教育と等しくて、新聞を読むであるとか、テレビを読むであるとか、そういった授業も混ぜられて

いるが、日本においては読解力を鍛えるのではなくて、実質道徳教育、いかなる感情を共有すべきかというべき論になってしまっており、メディアを正しく効率的に受容する能力が身につかない。

このような需要・供給両面の問題から、マスメディアは信頼できる社会を作るための現状把握や世論形成の役割を十分に果たすことが出来ていないと言ってよい。その中で注視されたのがネットメディアである。

ネットコミュニティがそのリテラシーの観点から注目されたのが、誤報・偏向報道への反応においてである。例えば犯罪不安とか犯罪報道に対して、インターネット上でユーザー有志が検証するという作業が行われた例は多い。ただし、現状ではこのようなネットメディア、その結果として作られるネットコミュニティ、アソシエーションに過度の期待を寄せることは出来ない。それ自体はよいことであっても、全く逆のことが起こり得ることにも注意が必要である。つまりは政治的な流言を広めるためにそういったネット上の活動が行われる可能性も否定できないのである。

## 2. 中長期的に改善の必要のある課題

### (1) 15年後の望ましい未来に向けての課題

#### ① 犯罪不安社会からの脱却

日本では10年・20年単位で治安改善傾向が続いている。この傾向は他国と比べても突出している。このような数字に基づく報道が行われるように関係機関と専門家が声を上げ、市民がその情報を十分に把握できるようになる必要があるだろう。次に、犯罪への対処が難しい大きな理由が犯罪被害者の感情処理の失敗にある点を認識する必要がある。日本の場合、なぜ自分が、あるいはなぜ自分の身内が犯罪被害にあったのかということに答える宗教的なリソースがなく、コミュニティ内での処理もできていない。その結果、不満が司法制度のみに向けられている。その結果が単純な厳罰化賛美である。犯罪被害者の権利確立、少なくとも経済的な救済であろう。それから精神的なケアを充実させていく必要がある。

#### ② コミュニティ再生

第一に、現在コミュニティを担う層は全般的に年輩者が多く、現役層が少ない。しかし、現役層が社会への関心が低いというわけではない点に注意が必要である。国や地方自治体にコミュニティ形成や社会問題解決のための助成は多いが、その情報は現役世代に届くようなチャンネルでは流通していない。コミュニティ形成の中心になって欲しい人たちに届くような回路を使った情報発信が要される。

第二の方策が、コミュニティの担い手としての社会企業家の存在の充実である。現役世代がコミュニティにコミットしていくためには、達成感や使命感などの心理的インセンティブだけでは不十分である。彼らの生活を支える経済的なインセンティブがなければ、所得を得るための時間を犠牲にして行われるコミュニティ活動への現役世代の参加は望めない。社会への参加、コミュニティの形成と維持によって生活を成立させられるようなビジネスモデルの開発が必要である。

### ③社会の通奏低音をつくるメディア

さらに、治安・犯罪とよりよい形できあがっていくための基礎を提供し、参加による信頼できる社会を構築するために不可欠なコミュニティの再生にもメディア状況の改善が必要である。第一に公的助成や NPO 設立と運営のための既存制度を広く知らせ、第二にコミュニティ活動の活性化を促すための広報活動が必要である。

メディアが情報を発信し、整理した形でその受け手に届けるためには専門家による精査・評価・修正が必要である。しかしながら、現在の日本の専門家にはメディア上でこれらの活動を行うインセンティブがない。金銭的に得るものは少なく、専門家内での評価にもつながらない状態では専門家による質の高いレビューは望めない。そこで、短期的には行政が専門家によるマスメディア、ネットメディアへの精査と評価の場を設定していくことが要されるだろう。

また、マスメディアにおいては記者、ネットメディアにおいては各発言者の匿名性を低め、責任有る発言を求めていくことが必要である。現在、マスメディアでの専門家への取材活動は形骸化している。記者本人の主張を追認するものとして、発言の責任を負わせるためだけに専門家が登用される例が多い。ネットメディアにおいても恣意的な引用によって専門家の発言内容が歪められている例に遭遇することは多い。新聞雑誌メディアでの記名記事化、ネット上での発言者の遡及可能性を高めることで、メディアの発信内容の充実を図ることが出来るであろう。

### (2) 30年後の未来に向けての長期的課題

メディアの改善によって社会的な合意が形成された後にも、なお残る課題をクリアしていくことが30年後の望ましい未来を達成するためには必要である。

犯罪と社会の関係において、テクノロジーがどういう役割を果たすべきかを考えるときに、現在、性犯罪者に対してなされている処遇が1つのヒントを提供する。性犯罪者に対してなされ得る処遇は、1) 情報開示による地域住民の自衛、2) 去勢などの生物学的処置、3) 心理療法、4) GPS 等による管理である。これらの処遇の中で、社会的な抵抗感が大きいにもかかわらず、当人にとって抑圧性が少ないのは4のテクノロジーによる管理であると考えられる。GPSによる行動制限に従う限りにおいては、当人への心理的・社会的な抑圧がないためである。今後さらに上昇するであろうセキュリティ意識のなかで犯罪者の社会復帰・共存を目指すためにはテクノロジーの活用が大きな役割を果たすことになる。

その一方で、コミュニティの拡充には技術的解決が困難な部分も残る。何か技術を導入すれば、コミュニティが立ち上がってくるというわけではなく、持続するためにはハードだけではなく、コンテンツ側のデザインも必要となる。現状ではハード面が先行しがちななかでソフト面、人材面からのアプローチも必要であろう。

ハード面での条件は整っていて、ソフトとアイデアが不足しているのだとすれば、大学・研究機関をハブとした地域の試行錯誤や創意工夫が必要である。そのための人材として、予備軍として余っているポスドクの人材や、博士課程の学生を活用すると、両方にメリットがある関係をつくっていくことができるのではないだろうか。

# 暮らしの安全が保証される日本

## 信頼できる社会の基盤

治安・メディア・コミュニティの構築の有機的連帯を  
通じて達成される安心・安全な社会環境の実現

### 犯罪不安社会からの脱却

- ・犯罪者の社会復帰への道筋
- ・被害者権利の経済・社会的サポート
- ・犯罪をめぐる誤解を解く

### メディアを軸とした人気の改変と技術の補完

技術を利用した人格抑圧の少ない管理

メディアリテラシーの向上による解決

### 安心安全を支える基盤としての コミュニティの再生

- ・現役世代を担い手とするための経済的  
裏づけをつくる

社会的企業、NPOによる生活基盤をモデル化

ネットメディアなど現役世代に届く既存制度情報の流通を促進

### 社会の通奏低音を作るディアの改善

- ・マスメディア、ネットメディアへの精査と評価

地域コミュニティとネットコミュニティの補完的棲み分け

### 犯罪に対する科学技術の活用の 検討

- ・犯罪学的な知見に基づく防犯設備の設置
- ・地理情報システム等のICT利用

現状のボトル  
ネックの多くが心  
理的慣習的なも  
のに根ざしてい  
る

### 現状認識

- ・現実のデータとかけ離れた犯罪不安
- ・担い手のないコミュニティ
- ・不活発で不十分な既存・新規メディア

## 第Ⅲ部 デルファイ調査結果に基づく将来シナリオ

### 1. 目的

本章では、同時に行われたデルファイ調査(「第9回デルファイ調査」報告書参照)から得られた結果のうち、特に多くの専門家の平均的な将来見通しを基にし、科学技術の成果により起こりうる将来の変化を、国民生活の観点で描くことを目的とした。すなわち、より多くの専門家の将来への平均的相場観を、国民の日常生活のシーンおよびイラストとして表現した。

### 2. シナリオ作成の方法

方法としては、まず 2025 年をひとつの基準点とし、デルファイ調査結果のうち科学技術課題の技術的実現年と社会的実現年(いずれも回答集計の中央値:専門家の平均的予測年と見なせる)に注目し、科学技術課題を以下の3種類で分類した。

- ① 技術的実現年と社会的実現年がいずれも 2025 年以前の科学技術課題。  
すなわち、2025 時点で日本の国民が科学技術の恩恵を社会のなかで実感できる事項。
- ② 技術的実現年は 2025 年以前であるが、社会的実現年が 2025 年以降の科学技術課題。  
すなわち、2025 時点では、すでに科学技術の成果が発表されているが、日本の国民がその科学技術の恩恵を社会のなかで実感できるには至っていない事項。
- ③ 技術的実現年と社会的実現年がいずれも 2025 年以降の科学技術課題。  
すなわち、2025 時点で科学技術の成果が十分なレベルには達していない事項。

このうち、①と②のみを用い、2025 年の日本の社会を以下の3つの観点で表した。

- 各種診断技術・システムが生活の中に適切に埋め込まれ、個人による健康維持が進み始めた社会
- 様々なエネルギーを、各個人が選択的に、あるいは総合的に価値判断して、利用することが可能になり、温暖化防止や環境保全に人々が積極的に関わるようになった社会
- 環境変化がもたらす様々な災害に対応しはじめた社会

この3つの観点から、中心的話題を設定し、2025 年の国民の日常生活のシーンおよびイラストの形の表現を試みた。

### 3. 中心話題とそれぞれの科学技術課題

#### 3-1. 各種診断技術・システムが生活の中に適切に埋め込まれ、個人による健康維持が進み始めた社会

主たる話題：

- ・ 遺伝子情報、生体モニタリング等を生かした健康増進・予防医療が大きく発展、一般向けの健康教育も充実し、ニセ情報に惑わされず個人が生活の仕方を自己管理し健康を維持できるようになった。病気になっても悪化させずに、うまく折り合いをつけて、健康な生活を送れる。
- ・ 再生医療など新しい治療法の目処がつつある(技術的には可能になってきた)ので、新たな治療の可能性に期待が寄せられている。

従たる話題：

- ・ 医療の地域格差や貧弱な救急医療などの喫緊の問題がある程度は解決されている。
- ・ 医療の標準化や適正な診断報酬制度により医療行為が適正に評価され、医療が平準化されるとともに、医療従事者の不足や激務も軽減されている。
- ・ 医療教育の充実により、医師・医療機関への信頼感が高まっている。

(関連科学技術等とその実現予測時期)

#### ①技術的実現年と社会的実現年がいずれも2025年以前の科学技術課題

項目	科学技術課題(先頭数字は、「分科会—課題番号」を表す)	技術的実現年	社会的実現年
健康維持・増進	1-16:日常生活における健康維持と増進(カロリー計算、運動強度等)をソフトウェアで支援するユビキタスコンピューティング技術	2013	2018
	2-05:個人の生活、健康状態、労働状況等を個人ごとに常時総合的に把握し、日常行動に適切なアドバイスをするシステム	2016	2022
	4-50:生活習慣病のリスクを正確に反映するバイオマーカーに基づく療養指導	2017	2022
	4-79:日常生活圏内での健康状態を管理するためのユビキタス生体情報モニタリング技術	2017	2023
	4-81:生活習慣病及び高齢化に対する予防・対応のための家庭医学教育	—	2018
	4-82:ゲノム情報を用いた個別医療に関する一般向け健康教育	—	2020
	8-15:癒し効果の生理的解明による、森林や木材などの生物資源の持つ特性を利用した新たな療法	2017	2022
	4-51:ゲノム情報による罹患リスク診断技術	2017	2023
医療システム	4-59:医療社会および医療都市(高齢者の居住地域など)の設計技術	2018	2024
	4-66:救急医療において、地域格差を是正できる迅速対応可能な地域医療制度	—	2021
	4-78:医療と介護のシームレスな連携に基づいた地域医療システム化技術	2017	2022
	4-80:生涯継続的地域 EHR(Electronic Health Record)を導入した、地域包括的ケアを可能にする統合的医療	2017	2023

項目	科学技術課題(先頭数字は、「分科会—課題番号」を表す)	技術的 実現年	社会的 実現年
	11-17:我が国において、カルテは動画を含み電子化され、患者個人の管理になり、検査その他の情報は全医療機関で共用され、それを元に患者と医療機関との間に健康管理エージェント業が成立する	2015	2024
	12-20:中山間地などの交通不便地域などに居住する高齢者や生活習慣病患者の生活を支援するため、IT技術を利用した遠隔診療システムや健康管理システムが確立され、通院しなくても必要な医薬品や療養食が補給される物流サービスが普及する	2017	2020
制度整備	4-69:再生医療の臨床応用への倫理に関するガイドラインの構築	—	2018
	4-70:安全、安心な医療への対価を保証する診療報酬制度	—	2018
	4-71:我が国独自の医療標準化(Japan Medical Standard)制度	—	2019
	4-72:医療の質と資源の至適マネジメントを可能にする医療社会制度	—	2019
	4-74:生命倫理と研究活動との調和のための、多面的で多数の国民が参加する国民的討議の実現	—	2019
	4-83:医療従事者への医哲学教育	—	2017
	4-84:医療従事者のためのシミュレーション技術を導入した医療安全教育	2014	2018

②技術的実現年は2025年以前であるが、社会的実現年が2025年以降の科学技術課題

項目	科学技術課題(先頭数字は、「分科会—課題番号」を表す)	技術的 実現年	社会的 実現年
健康維持・増進	1-34:人体に埋め込まれ、体温や血流などの生体エネルギーを利用して半永久的に動き続け、健康状態のモニターやペースメーカーのような生体機能補助を行うことができる医療チップ	2020	2028
	2-48:日常において、生命にかかわる重篤な事態の発生の兆候を示す身体の異変を検知し、本人・周囲に知らせるシステム	2021	2030
	2-62:体内埋め込み型健康管理デバイスが我が国の人口の30%以上に普及する	2023	2035
	3-17:孤発性のうつ病や統合失調症等の精神疾患の発症を予測する技術	2020	2029
	3-18:がんや難病の発病リスクをバイオチップで的確に診断するとともに、治療指針を示すための情報をごく短時間に提供するシステム	2019	2027
	3-25:統合失調症やそううつ病の原因の分子レベルでの解明に基づく治療法	2024	2033
	4-26:精神神経疾患の早期診断・治療法	2023	2030
	4-27:精神的ストレスの定量化技術	2019	2026
	4-28:登校拒否、学級崩壊、学習障害等を引き起こす脳のメカニズムの解明に基づく対処方法	2022	2028
	4-35:人体に埋め込まれ、体温や血流などの生体エネルギーを利用して、健康状態のモニターや治療を行うことができる医療デバイス	2019	2027
	4-46:網羅的分子(オミックス)情報や過去の健康診断データに基づいた予知医学(早期診断、長期疾患発症予測など)に基づいた健康・疾病管理)	2018	2027
医療システム	2-19:医者が遠隔地にいる患者と直接向き合っているかのように、優しく聴診器をあてたり、触診したり、口臭などを感じたりできる遠隔診察システム	2020	2029
	2-76:個人ごとの遺伝子情報、生体情報が組織的に薬品情報とリンクされ薬品の効果を定量的に予測することによって内科治療の入院日数を半分にできる	2025	2033
再生医療	3-29:幹細胞の移植により、脳機能障害からの回復を促進する治療法	2022	2033
	3-32:各種チャンネルや受容体を備え、細胞の膜輸送、物質変換、エネルギー変換などの機能を代替し、動物実験を削減する人工細胞・組織の構築技術	2024	2033

項目	科学技術課題(先頭数字は、「分科会—課題番号」を表す)	技術的 実現年	社会的 実現年
	3-33:iPS 細胞により作成された、ヒトの細胞、組織を組み込んだ人工臓器(人工すい臓、人工腎臓、人工肝臓等)	2024	2033
	3-34:iPS 細胞を利用した再生治療技術	2021	2032
	3-35:がん化などのリスクを回避して、iPS 細胞を含む幹細胞を機能細胞に誘導し、治療に用いる技術	2021	2030
	4-09:麻痺した運動機能を神経幹細胞の移植により、回復させる評価法・治療法	2023	2033
	4-10:幹細胞を用いた筋再生および臓器再生技術	2022	2031
	4-30:3 次元的細胞組織構築技術を用いた臓器機能の代替・修復技術	2023	2034
	4-37:献血を必要としない人工血液	2022	2029
	9-38:ポリ乳酸などの分解性足場材料を用いた組織再生型人工血管	2018	2026
	9-39:人骨とほぼ同等の機能を有する生体用材料	2018	2026
	9-44:幹細胞の分化誘導を精密に制御できる人工環境(ニッチ)基材	2020	2029
	10-38:体内埋込み型デバイスにおいて、10 年以上の長期にわたり、生体適合性を維持できる皮膜加工形成技術	2020	2029

3-2. 様々なエネルギーを、各個人が選択的に、あるいは総合的に価値判断して、利用することが可能になり、温暖化防止や環境保全に貢献していると実感できるようになった社会

主たる話題:

- ・ 非化石エネルギーを十分に利用できる住宅が増加している。
- ・ 各家庭あるいは地域コミュニティ単位で、ごみ、雨水など、未利用だったエネルギーが有効利用されつつある。
- ・ 性能向上とインフラ整備により、電気自動車が普及している。
- ・ 電気、ガス、水道などのライフラインが一括で管理され、生活者は選択的に、あるいは総合的にもっともエコになる配分を選んで、各エネルギーを利用できる(同じ電気でも、非化石エネルギーによるものの割合を増やす、遠く離れた地域の自然エネルギーを買うなどの自由度が生まれる)。それにより獲得したポイントを使って、森林保全への寄付、電気自動車レンタル料割引など、さらにエコにつながる行動をとることができる。

(関連科学技術等とその実現予測時期)

①技術的実現年と社会的実現年がいずれも 2025 年以前の科学技術課題

項目	科学技術課題(先頭数字は、「分科会—課題番号」)	技術的 実現年	社会的 実現年
エネルギー供給	1-27:ネットワーク通信・制御・管理技術、通信により電力供給を最適化するマイクログリッド技術	2016	2020
	6-49:プラグインハイブリッド自動車などのバッテリーを用いて需要家内や配電系統の需給制御を行う(V2G)	2016	2022
	6-53:原子力をはじめとした大型電源から太陽光などの分散型電源および需要機器まで、全体の需給バランスを ICT を活用し最適に運用することにより、低コスト、安定供給、低炭素化電力供給が可能となるような次世代送配電ネットワーク技術	2018	2025

項目	科学技術課題(先頭数字は、「分科会—課題番号」)	技術的 実現年	社会的 実現年
非化石エネルギー	6-56:バイオマス発酵・ガス化融合型バイオ燃料・水素の併産プロセス	2018	2025
	8-62:化石燃料への依存度を低減させる、未利用バイオマスや廃棄物を用いるガス化発電あるいは合成燃料製造技術	2016	2024
住宅、コミュニティ	1-41:通信、センサ、ディスプレイ、照明、空調、音響、給電などの機能を持ったインテリジェント建材ユニットからなる住宅・オフィスビル	2015	2020
	6-35:太陽電池などの再生可能エネルギーと燃料電池などをハイブリッドした住宅のエネルギーシステムの本格普及	—	2019
	6-52:宅内通信ネットワークを用いて家電機器、太陽光発電装置、蓄電池等を統合制御し、CO2 排出を削減する家庭用エネルギーマネジメントシステム(HEMS)	2014	2019
	6-54:都市部や住宅地域において街区単位で自然・未利用エネルギーを活用(建物間で電力・熱・水などを融通)し、物質循環と一体となった面的利用エネルギーシステム(都市部のヒートアイランド現象を緩和し、都市部でも郊外でも低炭素コミュニティづくりに寄与する)	2017	2025
	6-63:発光効率 10 lm/W を超える高効率 LCD、高効率 PDP パネル、発光効率および寿命を向上した有機 EL ディスプレイ、新原理のディスプレイ・デバイス・材料等	2017	2023
	6-67:超希薄燃焼による高効率化、高圧縮比化による高出力化・小型化、低 NOx 化をはかった、家庭用小型コージェネレーションシステム	2018	2023
	6-68:発光効率 150 lm/W を超える、次世代高効率照明(LED、有機EL 等の素子高効率化、材料の改善等)、マイクロキャビティ/クラスタ発光等の高効率高演色白色光源	2018	2023
	6-69:自然エネルギー、自然通風、自然採光、及び雨水・地下水等の利用を可能とするエネルギー自立型建築技術	2013	2020
	7-03:コミュニティ単位で自然・未利用エネルギーを活用した、物質循環サイクルを形成する技術	2018	2024
	8-11:自然環境、公共財、住環境の保持・整備のために、市場メカニズムを活用した仕組みや環境に配慮したファイナンスの仕組みが促進されるような税制・法制度	—	2020
	8-16:家庭から出る生ごみ処理技術など、住民参加型で廃棄物を有効利用する分散型エネルギーシステム	2016	2020
	9-50:蛍光灯に代わる照明用の有機高分子・面発光体	2016	2023
	移動	1-43:一充電で、現行ガソリン自動車と同等の航続距離(約 500km)が走行可能な電気自動車を実現する高いエネルギー密度(現行の約 3 倍)を有する長寿命・高信頼性の自動車用二次電池技術	2018
1-49:パブリックな駐車場、道路交差点での駐停車時に電気自動車、ハイブリッド自動車に逐次充電する非接触充電インフラ技術		2017	2023
2-23:我が国において、すべてのオフィスワーカーの仕事の8割が遠隔勤務となるようなシステム(異なるオフィスにいる同僚と常時同じオフィスにいるのと同様のコミュニケーションで協力できる)		2017	2024
2-24:我が国において、現在のリアルオフィスの勤務者が半分になるようなバーチャルオフィスシステム(テレワークの発達により、各人がそれぞれ他所にしながら、勤務者の業務の管理が遠隔でできるようになり、指さして指示できたり、内緒話もできたり、相手の手元のプリンターに印刷して書類を回したりなど、あたかも一堂に会して作業をしているよう臨場感を持つ)		2018	2025
6-41:移動体用(車載用など)低コスト二次電池(重量エネルギー密度 100Wh/kg以上、力密度 2000W/kg以上、コスト 3 万円/kWh 以下)		2019	2025
8-18:自動車などのエネルギー多消費型の耐久消費財に対する所有の概念が変化し、大部分がリースまたはシェアに置き換わる		—	2024

項目	科学技術課題(先頭数字は、「分科会—課題番号」)	技術的 実現年	社会的 実現年
	11-26:ネットワークインフラの発達により居住・仕事の物理的場所の差がなくなり、リアルなオフィスに代わってバーチャル・オフィスが主流になる	2016	2025
	12-44:交通信号のタイミングを検知し、燃費最小となるよう速度とエンジン動作を自動調節する自動車と、それを可能にする交通システムが普及する	2018	2025
農林水産業	5-23:漁業施設に被害をもたらす沿岸急潮流や高波の観測・予測技術	2016	2022
	5-24:人工的に大規模湧昇流を起こして生物資源増殖をおこなう技術	2016	2024
	7-14:リモートセンシングやネットワークを活用した森林/海藻・海草などの農林水産資源の広域モニタリングシステム	2016	2023
	7-25:栽培漁業や水産資源確保にむけた沿岸周辺での水循環(浄化・再利用)システム	2017	2023
	8-13:通勤型農業(生活の省エネ、高齢化対策等を進めるために、農業従事者も地方都市に生活するようになる)	—	2023
	8-14:タイミングを考慮した減農薬散布、CH <sub>4</sub> ・N <sub>2</sub> O 排出抑制など、生産中心の農業から環境負荷を軽減する農業へシフトさせる技術	2017	2023
	8-15:癒し効果の生理的解明による、森林や木材などの生物資源の持つ特性を利用した新たな療法	2017	2022
	12-25:農地・森林を保全・再生するための水資源(治水・利水・水環境)の重要性に対する社会的コンセンサスと新たな法・制度が確立する	—	2023
	12-26:農地などの土地の保安全管理を維持するため、都市と地方の間のUIJターン、マルチハビテーションなどの支援制度が普及する	—	2022
	12-32:市民環境運動の加速化に伴い、SATOYAMA イニシアチブ等の世界各国の伝統的な自然共生システムを再評価する手法が普及する	2018	2024
国際展開・国際貢献	6-18:集中型太陽熱発電(中央タワー、ソーラー・トラフ、太陽熱化学システム等)	2014	2023
	8-46:途上国の未発達な排水処理から発生する大量のメタンガスを効率的に回収し利活用する技術の普及	2017	2025
	8-47:途上国において安易に焼却されているバイオマス廃棄物を有効に利活用する技術の普及	2016	2024
	8-48:熱帯林を観測・評価する技術の進歩による、世界の主要な地域でも熱帯林破壊防止と再生活動の実施	2018	2025
	8-64:水循環システムを、新興国を含む海外において運用するための技術・ノウハウ・しくみについて、素材・システム・運営・ファイナンス等必要要素を取り込み、オールジャパン体制で戦略的に開発を進め、この分野で30%の世界シェアを確保する	—	2024

②技術的実現年は2025年以前であるが、社会的実現年が2025年以降の科学技術課題

項目	科学技術課題(先頭数字は、「分科会—課題番号」)	技術的 実現年	社会的 実現年
エネルギー供給	1-52:電力効率を向上させ日本の総発電量を20%削減することのできるスマートグリッド技術	2019	2026
	6-04:商用原子力発電所の廃止措置に対応できる、安全でかつ合理的な解体撤去技術	2020	2028
	6-08:微粉炭火力発電の高効率化を目指した750℃級蒸気タービン仕様の超々臨界圧発電技術(A-USC)	2020	2027
	6-17:石炭ガス化発電に燃料電池を組み合わせた高効率発電技術(IGFC)	2020	2029

項目	科学技術課題(先頭数字は、「分科会—課題番号」)	技術的 実現年	社会的 実現年
	6-34:燃料電池(熔融炭酸塩形、固体酸化物形)をベースにしたコンバインドシステム	2020	2028
	6-36:日本を含む国際連系電力ネットワークシステム	2025	2035
	6-38:自然エネルギーの活用が充分に行われ、さらに雷による停電のない高品質電力供給システム	2018	2026
	6-42:MW規模の系統連系安定化用低コスト二次電池(サイクル寿命:20年以上、コスト1.5万円/kWh以下)	2021	2029
	6-43:数十kWh級系統安定化用のSMES(超電導磁気エネルギー貯蔵システム)(コスト5~7万円/kWh)	2025	2035
	6-44:1MW、50kWh級電力貯蔵用超伝導フライホイール	2024	2033
	9-21:大陸間の送電時のエネルギーロスが実用レベルに低減された材料	2025	2035
	9-22:変換効率10%以上の熱発電モジュール	2022	2031
非化石エネルギー	1-44:エネルギー変換効率60%以上の太陽電池	2023	2030
	1-60:化石燃料、太陽エネルギー、風力、電気、空気、熱等の様々なエネルギーで移動体の原動機(アクチュエータ)を動かすためのハイブリッド制御技術	2020	2028
	3-51:石油を原料としていた化学ポリマーの半分以上が、再生可能なバイオマス資源由来となる	2022	2030
	5-43:全システムが密閉(大気とのやり取りが無い)で可搬型、一回の燃料補給で10kwを一年間出力し続けることが可能な燃料電池	2022	2031
	6-03:中・小型熱電併給原子炉	2023	2033
	6-06:高レベル放射性廃棄物の地層処分技術	2022	2034
	6-19:シリコンやGaAsを用いた太陽電池を凌駕するエネルギー変換効率の新材料技術	2021	2029
	6-20:変換効率20%以上の大面積薄膜太陽電池	2019	2027
	6-21:メガワットクラス以上の出力を有する海洋エネルギー資源利用発電技術(波浪、潮汐、潮流、海洋温度差発電等のいずれか)	2019	2030
	6-24:CO <sub>2</sub> 回収・貯留(CCS)技術との組合せによる化石燃料を原料としたCO <sub>2</sub> フリー水素製造技術	2021	2029
	6-27:太陽光で水を分解する水素生産プロセス	2020	2032
	6-29:国内の低コスト水素供給を可能とする水素輸送・貯蔵技術	2021	2031
	6-31:熔融炭酸塩形燃料電池による、数十万キロワット級の中・大規模発電	2022	2031
	6-57:バイオリファイナーによるケミカル・エネルギー併産システム	2019	2028
	6-62:水棲バイオマスプラントリーによる水環境浄化とバイオ燃料・ケミカル併産システム	2022	2030
	7-15:中緯度温帯地域でもシステム成立可能な高収量かつ輪作を可能とする草本系などのバイオマス商業生産技術	2020	2029
	7-16:バイオマスのカスケード利用としての植物・微生物を用いた、商業ベースの燃料/バイオケミカルズの製造技術	2019	2028
	7-35:石炭、重質油、バイオマス等の炭化水素資源に適用可能な、CCSを組み入れたガス化による経済性ある発電および水素製造、合成燃料製造技術の実用(温暖化防止に対して実際に貢献できるシステム)	2020	2028
	9-35:水素密度10wt%以上で放出温度100℃以下の高密度水素貯蔵材料	2023	2032
	9-26:低コストで変換効率20%以上の大面積薄膜太陽電池	2019	2027
	9-30:実用経済的な高速増殖炉用の耐照射性材料	2023	2032
	9-33:環境にCO <sub>2</sub> を排出せずに石炭から水素を製造する膜分離技術	2023	2031
	9-34:太陽光と水からエネルギー変換効率5%以上で水素を製造する技術	2024	2031

項目	科学技術課題(先頭数字は、「分科会—課題番号」)	技術的 実現年	社会的 実現年
	9-35:水素密度 10wt%以上で放出温度 100℃以下の高密度水素貯蔵材料	2023	2032
	9-45:再生可能エネルギー源を活用するための高効率エネルギー変換・貯蔵・低環境負荷材料	2021	2030
	12-60:既存ダムに堆積した土砂を低環境負荷のもとで河道に戻し、河川と沿岸環境の回復とあわせて、水力エネルギー生産力の回復を可能にする技術が普及する	2019	2026
住宅、コミュニティ	1-42:オール電化住宅で、太陽光発電と二次電池の組み合わせにより、安定的に供給可能な 100 万円以下の約 90%の電力量を賄える家庭向け電力貯蔵用電池技術	2019	2026
農村・農林業	3-56:地域農林業資源・有機性廃棄物などを利用する、ゼロエミッションを指向した低コスト農林業・農村	2019	2027
	6-61:地域農林業資源・有機性廃棄物などのバイオマスエネルギーを利用する、ゼロエミッションを指向した低コスト農林業・農村	2019	2027
	8-37:農村の自然資源の復元・保全と都市の環境負荷をトレードオフするミティゲーション・バンキング(生物多様性オフセットバンキング)などの市場経済手法	2019	2026
	8-40:地域農林業資源・有機性廃棄物などのバイオマスエネルギーを効率よく利用して高付加価値農林産物を低コストで産出し、経済的にも持続可能な農林業	2019	2027
	12-08:森林会計等の自然ストックに関わる会計技術の開発により、農山村の都市に対する貢献が定量的に評価され、都市の所得を農山村に還元することによる農林業再生と広域自然管理が実現される	2020	2029
	12-59:都道府県あるいは道州単位の地域レベルにおける森林資源・動物の排泄物・穀類の未利用材料等によるバイオマスエネルギーおよび副生成物・機能性物質等の物質連関による物質・エネルギー循環システムが構築される	2020	2028
	国際展開・国際貢献	6-36:日本を含む国際連系電力ネットワークシステム	2025
	6-59:熱帯地域等の日射量の高いサンベルト地帯における、植物生産能力の高い遊休地での資源作物バイオマスプランテーション	2016	2026
	7-12:砂漠(乾燥地帯)における植生再生の新技術(遺伝子組換え作物等)	2021	2029
	7-48:地球規模で太陽エネルギー利用の最適地における実施と生産利用地間の融通	2022	2031
	7-53:太陽光等、非化石一次エネルギー利用の地球規模での普及を可能とする革新技術	2025	2034
	8-49:砂漠・半乾燥地帯において、相応の食糧生産が確保される土地利用技術が普及することによる住民の生活の質の向上	2022	2030
	8-63:世界中の人々が、安心して飲める水に容易にアクセスするための、新興国等でも利用可能な、廉価で維持管理の容易な水処理・供給インフラシステム	2018	2026
	8-67:わが国の技術移転によって途上国の土壌・地下水汚染を著しく改善する、化学物質の除去・無害化技術	2018	2026

### ③技術的実現年と社会的実現年がいずれも 2025 年以降の科学技術課題

項目	科学技術課題(先頭数字は、「分科会—課題番号」)	技術的 実現年	社会的 実現年
エネルギー供給	6-28:再生可能エネルギー(風力・太陽光等)で製造した CO2 フリー水素の国際的な需給ネットワーク	2026	2035
	6-40:超電導送配電網	2027	2037

### 3-3. 環境変化がもたらす様々な災害に対応しはじめた社会

主たる話題：

- ・ 全球的観測網が整備され、様々な地球規模の環境情報が観測されるようになる。予測やシミュレーションにも利用され、それらの精度も向上する。
- ・ 一般市民も、グローバルな環境情報にオンタイムでアクセスできるようになり、環境教育や環境意識醸成に役立てられている。
- ・ しかし、そうしたグローバルな情報が地域社会の中で十分に生かされ大きな効果を生む(例えば防災システムの中で有効利用される)には至っていない。
- ・ ローカルな環境情報も、必要に応じて提供されるようになる。感染症、集中豪雨、洪水などの突発的事項について、地域的な予測・シミュレーションがある程度は可能になり、自治体の初期対応にも活かされるようになる。

(関連科学技術等とその実現予測時期)

#### ①技術的実現年と社会的実現年がいずれも 2025 年以前の科学技術課題

項目	科学技術課題(先頭数字は、「分科会－課題番号」を表す)	技術的 実現年	社会的 実現年
環境情報 (ローカル)	8-21:大気環境予測シミュレーションが高度化し、粒子状物質・オキシダント・窒素化合物などの大気化学天気図が報道され天気予報のように市民も利用される	2018	2024
	8-28:刻々の変化が把握できる大気汚染物質(オキシダント、NO <sub>x</sub> 、VOC など)の静止衛星観測システム	2019	2025
	8-34:各産業での物流情報や産業連関解析などを用いた、都市での物質循環や水利用を効率的に把握する情報解析技術	2018	2024
環境情報 (グローバル)	8-43:CO <sub>2</sub> を人工衛星から高精度で観測することで国別に吸収排出量を推定する技術	2019	2025
防災	11-40:地域のコミュニティに基づく防災・福祉活動の能力を向上させるための効果的な情報システム・社会制度構築	—	2022
	12-01:国土の地理情報と流域圏、生態系および災害リスク分布の情報が統合された情報インフラが整備される結果、それにもとづく国土規模の計画や管理のための技術や制度が実用化される	2017	2022
	12-16:都道府県単位で対応するべき大規模な自然災害が発生した際、国や自治体の災害対策本部が即時かつ効果的に応急活動を行うことができるよう、被害把握や拡大予測をリアルタイムに行う技術が確立される	2018	2024
	12-17:想定を越えた災害に対して、一般市民及び高齢者や病人・けが人を被災地外に脱出させるための対策システムが稼働している	2018	2022
	12-18:M6 以上の地震予測技術の確立に対応して、都市機能の強化、社会・経済活動の制限、食糧備蓄、一部市民の避難を優先的に支援する制度が確立される	—	2026
	12-21:地域住民が、火山活動、地震、洪水等の自然現象、あるいは人為的事故に伴う災害リスクを認識するための情報提供と教育が実行され、市民と行政との協働による防災・減災の仕組みが稼働している	—	2020
	12-35:災害発生時にも遮断されず、輻輳も起さずに、平常時と同じようにテレビ並みの動画通信が可能な、衛星通信技術等による日本全土を網羅する無線通信システムが普及する	2018	2024

項目	科学技術課題(先頭数字は、「分科会－課題番号」を表す)	技術的 実現年	社会的 実現年
	12-49:風水害と地震災害が同時に発生した場合を想定した避難・復旧の情報提供技術が普及する	2018	2023
感染症対策	4-60:初期段階で新興感染症の流行を予測する技術	2017	2023
	4-63:生態系や環境などの大規模システムのモデリングおよびシミュレーション技術の進展による、感染症の発生リスクの予測	2018	2025

②技術的実現年は2025年以前であるが、社会的実現年が2025年以降の科学技術課題

項目	科学技術課題(先頭数字は、「分科会－課題番号」を表す)	技術的 実現年	社会的 実現年
環境情報 (ローカル)	5-06:我が国の陸域並びに海岸から20km以内の近海域において、水平方向10km×10km、且つ鉛直方向2.5kmのメッシュにより、雲量と降水系の結合モデリングの精緻化と常時観測技術が結合した防災を目的とする総合的水管理システム	2019	2027
	8-22:社会経済シナリオ毎に今世紀の気候変動を地方自治体スケール程度の空間解像度で予測する技術	2020	2027
	8-25:汚染物質に起因する災害や野生生物に起因する疾病の予測を可能とする、大規模な環境システムのモデリング・シミュレーション技術	2021	2028
	8-30:衛星観測と地上観測の効果的な統融合により、流域単位での表流水・地下水循環を予測する技術	2020	2027
環境情報 (グローバル)	2-30:地球規模の未知の危機に対応するため、実時間データに基づき全地球的な気象・海洋・環境・生態系・伝染病・経済・人の動きなどを、トータルにシミュレーションして予測するシステム	2022	2030
	5-01:生態系と人間の住環境を含む地球大気層の二酸化炭素収支ならびに水循環変動を目的とした50年から100年将来のモデリング	2020	2027
	5-02:温室効果ガスと大気汚染物質濃度を陸域においては水平方向5km×5kmかつ鉛直方向で1km、また海域においては同じく20km×20km×4kmの枠で識別できる全地球観測システム	2020	2027
	5-03:大気の水蒸気含有量・風速ベクトルとそれによって発生する雲量を、陸域においては水平方向5km×5kmかつ鉛直方向で1km、また海域においては同じく20km×20km×4kmの枠で識別できる全地球観測システム	2020	2027
	5-04:全地球の陸域表層並びに海水面の水準及び重力分布を陸域においては水平方向1km×1km、海面においては同じく10km×10kmの領域で標高10mm、かつフリーエア重力10mgalの精度で10日毎に測定できる高分解能・高頻度観測システム	2024	2032
	5-07:太平洋・インド洋における季節変動以降5年間の海水面温度を±1Kの精度で予測可能とする技術	2021	2030
	5-10:全球の深海域においてトモグラフィと、自動採水システムを併用した、水平方向100km×100kmの海域ごとに全層の水温、塩分の変化を3時間ごとにモニターできるシステム	2023	2032
	5-13:海底面全域を計測する水平分解能1mの地形データ取得技術	2020	2029
	5-22:熱やCO <sub>2</sub> の全球的収支を明らかにするための海底面広域観測技術	2022	2029
	5-25:陸海シームレスの観測データ整備	2018	2026
	7-19:水文予測モデルや全球シミュレーションによる、水文(流域水循環)と気象の融合技術	2019	2026
	8-23:大気・海洋・陸域の物質循環を同時に扱う地球システムモデルによる数十年規模の地球環境将来予測技術	2020	2028
	8-29:地域フラックス推定の要求を満たし(CO <sub>2</sub> カラム量で1ppm精度)、雲の影響をほとんど受けない全球温室効果ガス(CO <sub>2</sub> 、CH <sub>4</sub> など)衛星観測システム	2020	2027

項目	科学技術課題(先頭数字は、「分科会－課題番号」を表す)	技術的 実現年	社会的 実現年
	8-33:POPs 等による海洋・沿岸域汚染を世界的規模でモニタリングして解析するシステム	2019	2026
防災	2-51:災害現場で生存者識別し、救助に利用できる災害救助ロボット技術	2019	2027
	5-08:日本海溝から三陸沖・東北地方東地域、南海トラフから東海・東南海・四国沖地域周辺で、過去において M6 以上の地震震源域周辺 50km 以内の複数地点で海底下 1000m 以上の地殻深部の歪力変動を測定し、地震予測の精度向上を目的とした地殻活動モニタリングシステム	2020	2028
	12-03:地域計画、都市計画の作成に際し、地域固有の文化的景観の持続的維持の検討が行われ、将来の生活の質(QoL)および災害リスク評価の両面から土地・空間の利用と保全に関わる判断が可能となり、それに基づくコントロールが行われる	2019	2026
	12-04:都市・農村間および地域の物質循環、産業構造、災害リスクを対象にして、自然システムと人工システムを一体的に分析する技術が確立される結果、物質循環、産業構造、災害リスクの分析や予測が可能となる	2020	2026
	12-11:流域・海域を一体的に捉えたメソスケール(数百キロ規模)での環境モニタリングや水循環・物質輸送シミュレーションに基づく定常的な環境管理が可能となり、その結果が広く市民に公表される	2019	2027
	12-13:気象現象(降雨、台風、豪雨、降雪)により発生する、都道府県単位で対応する大規模な自然災害(洪水、地すべり、土石流、雪崩)から人的被害を未然に防ぐため、気圏、水圏、地圏に対する全国高精度観測システムが完成し、災害の事前予測(1時間程度)に基づく警報・避難・規制が可能となる	2019	2027
	12-15:都道府県単位で対応するべき大規模な自然災害に対する食料・医薬品・生活用品などの備蓄、および道路や電力通信などのインフラ機能の補強が全国的に完了する	—	2026
	12-18:M6 以上の地震予測技術の確立に対応して、都市機能の強化、社会・経済活動の制限、食糧備蓄、一部市民の避難を優先的に支援する制度が確立される	—	2026
感染症対策	2-30:地球規模の未知の危機に対応するため、実時間データに基づき全地球的な気象・海洋・環境・生態系・伝染病・経済・人の動きなどを、トータルにシミュレーションして予測するシステム	2022	2030
	2-71:感染症の発生や伝搬の迅速な予測技術(全世界的な経済活動と地域的な経済活動など、広範囲とローカルな両面の要因を持つ人の流動と、それぞれの地域ごとの気温や湿度・風向きなどの環境要因と、免疫機能など人が持っている生理学的な仕組みとをあわせて予測)	2020	2027
	3-01:ウイルス変異予測シミュレーションに基づく総合的危機管理システム	2020	2027
	4-65:空港や港において輸入感染症の感染者をほぼ完全に検出できる技術	2020	2029

次章に各シナリオとイメージを示すが、シナリオ中のカッコ付の数字(X-XX)は、上記各表中の科学技術課題の番号を示している。

#### 4. シナリオ

##### **各種診断技術・システムが生活の中に適切に埋め込まれ、 個人による健康維持が進み始めた社会**

朝のニュース番組を見ていた森本英子は、急にひどい頭痛がして顔をしかめた。横で夫の幸一が心配そうに見つめる。数年前におきた脳梗塞で、英子の右手と右足は不自由になっている。日常生活をサポートしてもらうための在宅介護を受けながら、脳梗塞が再発しないように日々の健康管理を怠らない矢先の出来事だった。「念のために病院で検査を受けよう」という幸一に付き添われて、英子は市内の病院を訪れた。

「先日の検査の結果は特に異常なかったですよ」、英子を診察した内科医の本田はほほえみながら言った。「このところ寒暖の差が激しいので、体調を少し崩されたのでしょう。特に心配な病気の兆候はみられません」との本田の言葉に、英子の脳梗塞再発に対する不安は消えた。幸一に付き添われて診察室を出る英子を見つめながら、本田自身も安堵し、電子カルテが表示された高精細タブレット端末を閉じ診察室をあとにした。これで、きょう最後の外来患者の診察が終わった。帰宅前、最新の医学電子ジャーナルに目を通そうかと本田は思う。

本田が医師免許を取得し臨床研修を終えた後、この病院に勤務して数年が経った。はじめは患者を診療するだけで精一杯だったが、最近、やっと患者と向き合えるようになった気がする。患者とのコミュニケーション技術は、大学で習っただけでは、なかなか実践はできない。経験の積み重ねが必要なのだ。先輩医師らと話をしていると、本田が学生・研修医時代に受けた教育は、彼らの頃とはずいぶん変わっているらしい。医師が患者やその家族と接する際のコミュニケーション方法などは、かつてはカリキュラムとして教えられることはなかったという。また学生時代、本田は医哲学教育の一環としてさる高名な僧侶の説法を聴き深く感銘を受けたことを覚えている(4-83)。生とは何か、死とは何かを真摯に考えることで、常に生死の場面と向き合う医師としてのモラルが養われたと思う。

先輩たちが言う「医療崩壊」の時代は、本田には想像しにくい昔話だ。産科・小児科や救急外来の担当医、また地域医療に従事する医師の不足が問題になっていた頃は、医師は日々の激務に追われ過重な負担を強いられていた。報酬・労働負担・専門家としてのやりがいのバランスが崩れていたと先輩たちは言う。しかし現在では、診断報酬がより医療現場の実情に即したかたちに改定され、医師が行う医療行為が適正に評価されるようになった。診療報酬制度は、安全かつ安心な医療への対価を国が保証する形で確立されている(4-70)。

さらに日本独自の医療標準化(Japan Medical Standard)制度が確立(4-71)し、「質と資源の

至適マネジメントを可能にする医療社会制度」という言葉で医療が表現される機会が増えた(4-72)。実際、大都市の病院に医師が集中するなどの偏りは少しずつ是正され、医療の平準化が進んでいる。そして、コメディカルのマンパワーが強化され、医療現場の激務も少しずつ軽減されつつある。

診療の体験型シミュレーション技術を導入した医療安全教育が充実したこと(4-84)も手伝って、医師や医療機関に対する市民の信頼感は高まっている。医師側は仕事の忙しさが緩和されたことで、患者一人ひとりとじっくり話せるようになった。本田もまた、コミュニケーションを円滑にとることが医療と患者の結び付きを強くすることを再認識している。さきほどまで診療していた英子も、いつも付き添ってくる夫の幸一も、この外来を訪れた当初は動揺していた。普段はかかりつけの近所の開業医に診てもらっており、本田が勤務する市内の病院を訪れるのは久しぶりなようだ。大きな病院なので率直に話せる雰囲気ではないと思ったらしい。

地域医療システム化技術が進んだ結果、英子が受けている在宅介護と医療とはシームレスかつ密接な連携で結びつくようになった(4-78)。「地域が包括的に患者を診る」というシステムを構築するには、医療情報ネットワークが不可欠だ。そしてこれは、家庭の可能な限りの努力と、これを補う公的・私的介護サービスを最適化することではじめて本当に威力を発揮できる。テクノロジー面からは、生涯継続的地域 EHR(Electronic Health Record)が導入され、患者中心の統合的医療は完成へのスピードを速めた(4-80)。

電子カルテの普及は、患者個人による病歴管理への移行を促し、検査結果や服用薬の情報などは、すべての医療機関で本人の許諾を得たうえで共用が可能になっている。その情報をもとに、患者と医療機関との間に「健康管理エージェント業」が成立しているのも新しい動きだろう(11-17)。英子が開業医を受診していた際の医療情報も、本田の病院へスムーズに移行したので病歴や健康状態が直ぐにわかり、本田は適切な診療を進めることができた。医療情報の電子化で、動画によって検査内容などがビジュアルに閲覧できるのも、診察時のメリットだ。これと逆に、病院での診療情報を、かかりつけの開業医もまた共有できる。先日の受診時、幸一は本田にこんな話をした。「できるだけ大きな病院で診てもらいたいという患者心理は、現在ではかなり希薄になったと思います。だって地元でも、医療のクオリティは変わりませんしね」。

日本の医療は、この 20 年でベクトルを大きく転換した。患者が健康を害した後に着手する、いわば受動的な医療ではなく、事前準備を怠らない予防医学を重視するようになった。これは高齢者のみならず、若い世代からも浸透している。第一に、カロリー計算や運動強度など、日常生活における健康維持・増進をソフトウェアでサポートする「ユビキタスコンピューティング技術」によるところが大きい(1-16)。ユビキタス時代の到来によって、必要な医療情報を患者自

身が都合の良いタイミングで取り出すことができる。市民は医療をより身近なものと感じ、関心は一気に高まったといえる。

日々、連動機能を持った各種の健康測定機器でデータが自動的に記録されているので、人々は生活や健康の状態、労働の状況などを個人単位で常時、総合的に把握している。英子も脳血管を健やかに保つための多くの情報を得るとともに、本田は彼女の日常生活に対して適切なアドバイスを送ることができた(2-05)。また英子の生活習慣病全般のリスクを低減するため、本田は「バイオマーカー」による検査結果に基づいて療養指導をしたり(4-50)、ゲノム情報によって罹患リスクを診断している(4-51)。生活習慣病や高齢化に対応する家庭医学教育が浸透していることもあり(4-81)、英子が今後予期せず大きな病気にかかる可能性は低いとあっていいだろう。

とはいえ、すべての病気を「予知」できるわけではない。がんや難病の発症リスクを、バイオチップなどを用いた的確に診断するシステム(3-18)や、網羅的分子(オミックス)情報や過去の健康診断データから早期診断・健康管理を行う(4-46)にはもう少し時間がかかるという。英子も本田から「もしものことがあるから、毎日の健康状態はこまめにチェックしてくださいね」と言われている。

救急医療体制においては迅速かつ的確な対応が可能な地域医療制度が確立し、地域格差は是正されている(4-66)。医療社会および医療都市の設計技術(4-59)の成長スピードは目をみはるほどだ。しかし、中山間地では、交通をはじめ生活を営むためのインフラが整っていないエリアもまだまだ目立つ。高齢で寝たきりの幸一の父がそのような過疎地に住んでいるが、IT 技術を駆使した遠隔診療システムや必要分の医薬品や療養食が提供できる物流サービスが普及している(12-20)、特に不自由はないと介護福祉士が言っていた。とはいえ、過疎は止めようもなく、こうした地域の医療がコスト高に苦しんでいることは否めない。

今後は遠隔診察がさらに進化し、来院できない患者と医師が直接向き合っているかのような診察が可能になると言われている。聴診器をあてる感覚、口臭などの感覚までも具現化できる画期的なシステム(2-19)が開発され、実用化まであと一歩だが、技術が進歩したからといって人と人の結び付きをおろそかにしてよいはずがない。医師のコミュニケーションスキルが一層重視されることだろう。メンタルヘルス分野でも、さまざまな病態メカニズムが解明(3-25)されつつある。少年期の登校拒否や学習障害などへの対処(4-28)、精神神経疾患の早期診断(4-26)に関する開発が進んでいるが、やはり最終的には医師と患者の結び付きが最も大事なのだ。

診察室を出た後、本田は病院内のオフィスに立ち寄った。備え付けのパソコン上で、電子ジャ

ーナルに掲載された再生医療に関する最新の研究論文を閲覧する。病気のみならず、不慮の事故で損なわれた体の機能を取り戻すことのできる再生医療への期待は大きく、大学教員と臨床医という二足のわらじを履く同期も、国際的な研究コンソーシアムの下で精力的に研究を続けている。

本格的な再生医療の実現は近い。再生医療の臨床応用への倫理に関するガイドラインは(4-69)、医療従事者に周知されている。間もなく、ポリ乳酸などの分解性足場材料を用いた組織再生型人工血管(9-38)、人骨とほぼ同等の機能を持つ生体用材料(9-39)などの新技術が医療現場に持ち込まれる、と本田を採用した病院長は言っていた。本田自身は、がん化のリスクを回避し iPS 細胞を含む幹細胞を機能細胞に誘導し治療する技術(3-35)について、一般的な医療として提供できるかどうか見極めるために、医療現場での試験研究に携わっている。

再生医療を展開する上では生命倫理と研究活動との調和が欠かせない。多数の国民が多面的に参加する国民的討議(4-74)が活発化するなど、再生医療に対する国民のコンセンサスづくりも盛んである。一方、本田は医療現場の声を反映させるために、学会のみならず地域での集会・勉強会などへも積極的に参加する日々を送っている。新たな時代の医療へ向かって本田の想いは熱い。

各種診断技術・システムが生活の中に適切に埋め込まれ、個人による健康維持が進み始めた社会  
＜個人による健康維持や先進医学の進歩など＞



各種診断技術・システムが生活の中に適切に埋め込まれ、個人による健康維持が進み始めた社会  
<医療体制や医療従事者教育など>



**様々なエネルギーを、各個人が選択的にあるいは総合的に価値判断して利用することが可能になり、温暖化防止や環境保全に貢献していると実感できるようになった社会**

最近では驚かなくなったが、今朝もメールボックスは仕事の依頼でいっぱいだ。英二のような、“自然エネルギーアドバイザー”が引っ張りだこなのは、政府がゼロエミッション住宅と呼ばれるエネルギー自立型住宅(6-69)に対する補助金制度(8-11)を5年前に大幅増額してからだ。日本は、排出権取引などを効果的に使い(8-11)、2020年に温室効果ガス25%削減をどうにか達成したものの、企業に比べ生活者分野の実績が目標に達しなかった。このため住宅関連などの促進制度がさらなる削減に向けて強化されたのだ。

通信ネットワークの急速な進歩のおかげでテレワーカー(2-23,2-24,11-26)を中心に郊外型生活を選ぶ人は前から増えてはいたが、この促進制度によって従来の農山村への定住のメリットが一気に大きくなり、全国の元「田舎」の再開発が進められている。バイオマスや太陽光発電などの自然エネルギーを活用し、家庭用エネルギーマネジメントシステム(6-52)を導入して化石エネルギーの使用量を最低限に抑える住宅が普及し(6-35)、これまでは考えられなかったような価格で購入できるようになった。高効率で大面積の薄膜太陽電池(6-20,9-26)も開発され、一部の住宅から導入され始めているので、普及も時間の問題である。補助金の対象となるゼロエミッション基準を満たす設計と診断ができる資格を持った英二に仕事が殺到するのは当然のことである。

地方移住ブームを見越してこの村に引っ越してきた英二の予想どおり、現在では「町」となったこの地の自宅オフィスでの仕事は快適だが、仕事が忙し過ぎるのが難点だ。この町では、従来から酪農と養豚業や近郊型農業も盛んで、今では、農業廃棄物からメタンガスが作られ(6-56)、各家庭にパイプで供給されている。この様に、地域農林業からの廃棄物を有効利用して、ゼロエミッション地域が全国的に出現するのももう間もなくのことだろう(3-56,6-61)。敷地が広く取れる郊外では、通風や自然採光が優れ、これらを最大限に生かした設計(6-69)が可能となり、ゆったりとした快適な家に住めるのが嬉しい。通勤の必要もないオフィス環境を実現できるのも、自然エネルギー住宅でのテレワークの醍醐味だ。この町で3つ掘った深井戸から、温度が一定している地下水を各家庭に供給して循環させ始めたため(6-54,7-03)、最近では、夏でも冬でもファンを回しているだけで済むことが多くなり、電気代はおおいに節約できている。

英二と妻の直美は、週に一度、隣村に借りた家庭菜園に行き、自家用の野菜を栽培している。この村では、住民の過疎化と高齢化が進み限界集落に近づいている。耕作放棄地も多く、環境維持と集落維持のため、都会の住民に無料で農地や空家屋を貸しているが(12-26)、需要は必ずしも多くはない。英二たちは、無料で家庭菜園を借りる代わりに、年に2回、村の森林

の間伐材の伐採のボランティアに参加する。このボランティアには、都会に住む友人の雄一を誘うこともある。現在はまだこうしたボランティア(12-32)に支えられているが、森林の持つ効果にも着目され(8-15)、農山村を国全体で支える森林会計(12-8)の導入も議論に上っている。

この村にも、電力供給を最適化するマイクログリッド技術(1-27)などのインフラは整備されているが、伝統的な日本家屋に住むこの住民達は、もともとエネルギー消費量が少なく、その様なインフラを必ずしも必要としていない。しかし、山の麓の傾斜地にあるこの村は、溪流が多く水量も豊富なため、所々には小型の水力発電機が置かれ、村に必要な電力をまかなっている。余剰電力はスマートグリッド配線網(6-53)を通じて販売し、村の財政を助けている。また、伝統的な水車小屋も復元され、発電と同時に観光にも役だっている。炭焼きも行われ、高級木炭は一部の外食産業向けに出荷されている。村の豊かな自然環境は観光資源になり得るであろうが、それを活かせる若い人材は村にはなく、かろうじて廃村を逃れている状況である。

一方で、農業の大規模化や若者を呼び込むことに成功し、新たな活路を見いだした農山村も存在する。米や野菜の有機栽培は手間が掛かり、バイオマスエネルギーを使ったとしてもコストでは外国産と比較にはならない(6-61.3-56,12-59)。しかし、国民の健康・安全志向は、生産者直売システムやトレーサビリティを発達させ、その様な農山村を支持する結果となっている(8-40)。今では、安全な食材として外国にも輸出できる程にもなっている。また本格的な有機栽培の拡大と同時に、どの農地でも農薬の使用は最小限に抑えられるようになってきた(8-14)。日本の農業は、国民の安全志向に応えつつ環境負荷を軽減する農業へと変貌を遂げている。

付加価値の高い農業(8-40)は、農家に新しい収入の道を拓き、ライフスタイルにも大きな変化をもたらしている。とくに都市近郊の「通勤農業」(8-13)や「都市・農村二重生活」の拡大は農業に新しい活力を与えている。本格的な農家経営をするには、職住近接でなければならないが、土地の利用密度を高めて小規模の経営をする“カジュアル”な農家には、こうしたやり方も可能だ。生活の省エネ、高齢化対策の推進施策、税制面の支援制度充実などで、一般の人にも「マルチハビテーション」が可能となり(8-26)、農村と都市の両方に生活拠点を持つことは珍しくなくなった。これは非農家の退職者や脱サラの人たちが続々と農業に参入するようになったのと並行した動きであり、労働時間の短縮やワークシェアリングの拡大なども後押し要素になっている。

英二の友人の雄一は、仕事の関係で、東京の都心に近いマンションに住んでいる。水の浄化施設や太陽光パネルや発電用風車の設置など、幅広く環境技術を扱う会社に勤務しており、海外出張も多い。この会社は、かつては石油化学製品の大企業だったが、原油の高騰や国際条約による原油の使用制限により業態を変化させざるを得ず、数年前に現在の様な環境企

業へと転換した。原油に変えてバイオマス原料を用いた化学工業(3-51)への転換も議論されたが、均質かつ大量の原料の確保は難しく、バイオマス化学への転換を断念した経緯がある。ブラジルやインドなどで、大規模プランテーションによる資源作物栽培とバイオマス由来資源の開発(6-59)が進んできており、中規模のバイオマス化学工場は、その様な大規模農場に隣接して立地する場合が多い。その様な化学工場では合成燃料(8-62)をも製造しており、重要な輸出品となっている。

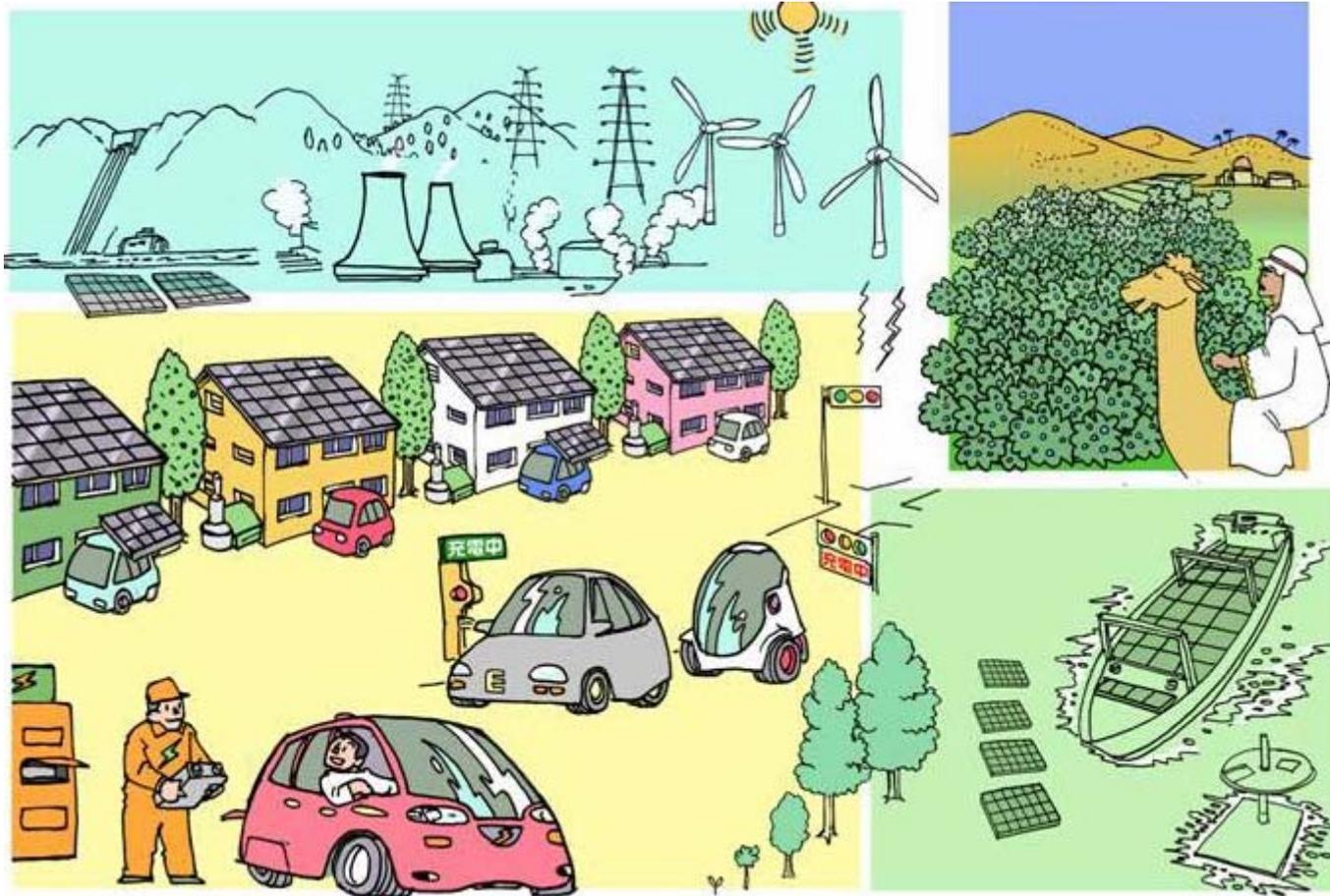
世界を飛び回っている雄一は、オーストラリアの砂漠に設置した太陽光発電プラント(9-26,7-48)の設備更新と新たな水素製造プラント(6-27,6-34)の建設準備のために、1週間ほど海外出張して、昨日帰国したところだ。高速インターネットを使った遠隔視察も可能だが、天候や風向きなど微妙な問題はやはり現地に来てみないと分からない。雄一の会社は、そこで太陽光発電プラントを持っており、高性能な蓄電池(1-43)を船に積んで、電力貿易(7-48)を行っているが、超高性能な太陽電池が開発された(1-44)ので設備更新を行い、ついでに水素ビジネス(6-28,6-29,9-35)にもものりだそうとしている。化石燃料の使用は、国際条約により制限されているため、この様なエネルギー・ビジネスには大きなチャンスがある。超伝導の海底電力ケーブル網(6-40,9-21)が繋がれば、エネルギー貿易はもっと効率よくなるだろうが、まだそこまでには至っていない。アフリカのサハラ砂漠にも、大規模な国際太陽光発電所の計画があり、雄一の会社もいくつかの日本企業と組んで応札した。しかし、価格が高過ぎたためか、性能が劣っても価格の安い外国製の太陽電池パネル使った外国企業が選定された。

しかし、雄一の会社が開発した低コストの水浄化技術(8-63,8-67)は絶好調だ。製品はアジア地域を中心に海外で広く採用され、最近ではアフリカや南米にも広がりつつある。しかし、内紛や経済問題で破綻した国もあり、地球上の全ての人々が安全な水にアクセスできるのはもう少し時間がかかるようだ。雄一の会社では、単に施設を建設するだけでなく、ノウハウやしくみの移転、実効性のあるファイナンスをセットにしたため(8-64)、新興国に受け入れられ、シェアを伸ばしてきたが、現在では外国企業との競争が激しくなっている。同時に雄一の会社が開発した、海水の大規模淡水化プラントは、既にサハラ砂漠の大西洋岸に建設し終え、そこに大規模農園を造成中である。これには、作物の品種改良(7-12)が進んだ影響も大きい。農園の通常の作業は地元住民が行うが、高度な判断を必要とする作業については、日本から遠隔操作できるヒューマノイド型の農業ロボットが行うことになっている。雄一の同僚たちは、そのロボットの試運転に出かけている。また、米国の情報会社と手を組み、作物市場や天候・気候を細かく予測し、それに応じて米、小麦、豆などの作物を植え付け、ほとんどは市場を通じて販売する予定であるが、一部は地元で販売することになっている(8-49)。雄一の会社では、この様にして、食料、水、環境、そして住民の生活向上をセットにして、世界に貢献したいと考えている。

雄一の会社が電力貿易に使っている様な高性能な蓄電池は、電気自動車にも積載され、1回の充電で500km以上走行できるようになった(1-43)。雄一もこのタイプの自動車を持っており、通常は割安な夜間電力で充電するが、必要ならば、信号の待ち時間や駐車中に非接触充電することもできる(1-49)。まだこの種の電気自動車は高価なため、従来のハイブリッド車に乗っている人も多い。それでも道路状況に合わせて、エンジン動作を自動調整する交通システムが普及している(12-44)ので、燃費は以前よりさらに改善している。例えば、目的地に着くまで、一度も信号待ちをしなくても良いように、スピードを自動調節することもできる。最近では、カーシェアリングの新しいサービス(8-18)も始まり、電気自動車を買えない人でも、手軽に利用できるようになってきた。

雄一たち家族が住む都心に近い賃貸マンションでは、地域協定により、建物には太陽光発電システムや雨水再利用設備を設置することが義務づけられている(6-54)。また、この地域協定に参加すれば、ゴミ焼却場から温水が配給されるという特典も得られる(8-16)。ゴミ焼却場から排出される有害物質は100%完全に取り除かれ、排出されるのは水蒸気と若干の二酸化炭素のみという状況になっている。そのため、温水配給という特典を期待して、ゴミ焼却場を誘致する地域も多い。雄一たちの住むマンションは比較的新しいので、通信・室温・照明・電力・飲料水・温水・排水などが総合的に管理されるインテリジェント・マンション(1-41)になっている。照明自体は、LEDや有機ELを用いた高効率の照明が普及し(6-63,6-68,9-50)、蛍光灯はあまり使われていない。まだ残る古い住宅やマンションが、温室効果ガス削減の目標達成の障害となっていたが、補助金制度により、今後の建て替えやリフォームが促進されるので、目標達成も間近と思われる。

様々なエネルギーを、各個人が選択的あるいは総合的に価値判断して利用することが可能になり、温暖化防止や環境保全に貢献していると実感できるようになった社会



## 環境変化がもたらす様々な災害に対応しはじめた社会

鈴木は、この春、市役所の消防防災課に異動となった。この課は防災に関する地方行政の要となるべき部署だ。昨年は南米に続いて中国山岳部でも大きな地震が起き、アイスランドでも火山が大規模噴火してヨーロッパ中で飛行機の欠航が相次ぐなど、世界中で災害が大規模化している。3年前には、この地域も大きな台風におそわれ、豪雨、土砂崩れ、家屋倒壊などで死傷者 40 人という甚大な被害を受け、海拔が低い市南部では、多くの家屋が床下浸水した。こういう状況の中、行政には、より迅速・適切な対応が求められるようになってきている。そのための技術やツールも日々進歩しており、地方都市の行政担当者も最新の知識をもっていなければならない。住民に直結する鈴木たちの役目は重要性を増すばかりだ。

日本では、2年前からテーマを決めて毎年2回、国をあげての本格的な防災訓練が行われている(12-21)。そして、防災訓練の有効性を世界にもアピールしてきた。今日の防災訓練は、鈴木の住む沿岸地方都市だけでなく、日本中の全ての沿岸地域は津波がテーマとなっており、内陸地域については、地震などによる大規模火災がテーマになっている。津波については、チリ沿岸部の震源地を想定しており、この日はチリやインドネシアとタイも日本と歩調を合わせて防災訓練を行っている。最近の海面上昇の影響のせいで、これらの国々でも、洪水や高潮の被害が続出しており、各国政府も防災訓練を重要視するようになってきた。スーパーコンピュータによる太平洋全域のシミュレーション結果に基づく詳細な津波予報は、通信衛星と放送衛星とを通じて日本全土のみならず必要であれば外国にも時々刻々と提供される(12-35)。この無線通信システムは去年稼働し始めたばかりだが、防災訓練に合わせて点検を実施すると同時にさらなる改善点を探っている。

鈴木達は、津波予報が出されると直ちに市の対策本部を立ち上げ、詳細な津波警報に基づき、市南部の住民に避難勧告を出し、高台にあるいくつかの中学校や小学校に避難させた。ハザードマップなどは、とっくに出来上がっているが、この様に実地訓練をしてみないと、住民達にはその危険性はなかなか伝わらない。普段は各家庭へのエネルギー供給を最適化するマイクログリッド網(3-2節①1-27)を、非常時モードに切り替えれば、そのネットワーク通信を用いて地域の被害把握や拡大予測を瞬時に予測できる(12-16)。鈴木は、その装置を非常時モードに切り替え、実際に正常に動作するかを入念にチェックした。遠隔操作で各家庭のガスの元栓を閉め、電気のブレーカーを遮断することができるかも実験してみた。また、防潮堤の監視や可動防潮堤が動くかどうかもチェックした。消防防災課では、市南部の防潮堤のかさ上げを検討していたが、景観や土地利用を考慮した災害リスク評価(12-3)により、緊急時にのみコンクリート板が上方にせり上がる方式を採用し、昨年完成した。これもマイクログリッド網で自動的にコントロールされているが、やはり半年に1回の検査は欠かせない。河川の水位や地滑りなどの危険箇所も自動で常時モニターができ、危険水位に達したり、地滑りの兆候がキャッ

チされると防災センターに警報が届くと同時に、危険地域の住民達にも知らされる(12-13)。河川上流を含めて、現在の水位値と今後の水位予測がインターネット上で公開されており、リアルタイムで更新されるので(12-01)、的確な警報や避難勧告を出せる様になった。流域の魚の生息数や川岸の植物の様子などの付加情報もリアルタイムで公開され、生体系の保護にも役立っている。

各家庭に設置が義務付けられていた火災報知器も、マイクログリッド網を通じて地域の消防署に直接通報される様になってからは、焼死者は劇的に激減した。特に、Twitter を通じて家屋内に人がいるかどうかを逐次報告してくれるセンサーシステムは、消火方法を大きく変えた。このシステムは地震などによる家屋倒壊現場から人を救出するのにも大きく役立つと期待されている。また、非常時には、携帯電話もその人の位置や状況などを自動的にかつ的確に消防署や防災センターに通報してくれる。この機能のおかげで、3ヶ月ほど前に、漁船の転覆事故によって海で漂流していた全員を速やかに救助できた。人体が出す遠赤外線や炭酸ガスをキャッチして生存者を識別して救助するロボット(2-51)も稼働し始めており、まだ数は多くはないが、配備している自治体もある。このロボットは昨年中国山岳部地震の時に派遣され、救援隊員が高山病で次々と倒れる中、大活躍した。

消防防災課が中心となって住民の相互扶助の体制を整え(11-40)、近隣住民の中からリーダーの役割を担う人々を育ててきたが、住民の高齢化もあって緊急時には必ずしも頼れる組織にはなっていない。高齢者世帯の実情の把握など、むしろ、市の高齢者・障がい者福祉課との連携が必要となり、鈴木が福祉課から防災課に異動になったのは、この理由のためである。今回の訓練では、数名の高齢者が水没しつつある家屋で孤立したという設定が急に提案され、対処することになった。ボートを使う案も出されたが津波のため危険で、急きょ自衛隊の救助ヘリを要請することになった。すでに全国で 20 件以上の救助要請が来ているそうだが、要請を受け入れてくれた。この様に、自衛隊・消防庁・海上保安庁・警察庁なども連携して訓練に参加している(12-17)。この訓練は、同時多発的に発生する災害に、国としてどう対処すべきかの指針を策定する上で重要な役割を果たしている。

中野医師は、本州内陸部の地方都市にある病院に勤務している。この日の防災訓練のテーマは、地震と同時に発生した大規模火災による負傷者をどの程度受け入れることができるかである。地震予測については、観測網や観測手段は進展したが、いまだに確実な予測ができるに至っていない(5-8)。従って、今回の訓練は何の前準備もなしの訓練である。地震発生から 10 分を過ぎると負傷者は救急車で病院に到着し始めた。中野医師は、負傷者数の規模を消防本部に確認すると、職員と協力して待合室の半分を仕切って応急処置室に作り変えた。この日は通常の診察に来ている人も、可能な人は訓練に参加し、また、決められた避難所に避難する人もいる。負傷者の話から、医師は怪我の状態を判断して、次々と治療していく。緊

急時には、電子カルテは国内の全ての病院や医院宛に公開されるので、電子カルテの番号さえ分かれば、意識のない負傷者でも、血液型や過去の病歴がわかる。頭部を打撲して、意識不明の患者は、電子カルテの番号を持っていたので、緊急輸血をすることができた。負傷者が40名収容されたところで、これ以上の搬入は断り、他の病院に搬送してもらった。その夜、病院では、災害や伝染病に備えて、どのような医薬品をどの程度備蓄するか(12-15)、近隣の病院とどう役割分担するかが話し合われた。このような情報は、近隣病院や自治体とも共有される。

このような大規模の防災訓練により、実際にどういう対策が必要なのかが良く分かる。昨年、地震により大都市圏で交通網が1日遮断されるという防災訓練を行った時には、実際に十万人近い通勤難民が発生した。現在もこの対策についての目処はたっていない。避難場所が充分確保できず、また、復旧情報が十分に伝わらなかった(12-49)というのがその時の反省点だった。かつてのアイスランドの火山の大規模噴火で、ヨーロッパの航空網が混乱し、日本にも影響を及ぼしたが、非常時の交通網や流通網の早急な復旧や代替手段の確保という点では、まだ結論は出ていない(12-18)。

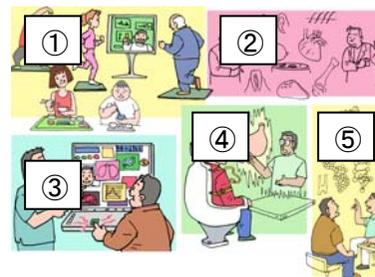
最近では、冷夏や暖冬、また春には異常高温と異常低温を一日毎に繰り返すという異常気象が頻発している。作物の収穫だけではなく、人々の健康をもむしばみ始めている。このような異常気象に対応するため、100を超える国や国際機関が、包括的な地球観測を行う「全球地球観測システム」の開発を推進している。人工衛星と地上観測を統合して、グローバルな気象モニタリングを行うシステム(5-02, 5-03, 5-07)の精度が再来年には大幅に高まる予定なので、こういった異常気象の根本的な原因究明や対策には役立つだろう。また、陸海シームレスの過去100年間の観測データの整備と解析(5-25)も行われており、結果がでるのももう直ぐのようだ。様々なシミュレーション技術(2-30)や予測技術も発展してきており、実用まであと一歩のところまで来ている。今後、地球がさらなる温暖化に向かうのか、それとも世界中の火山の大規模噴火が影響して、徐々に寒冷化に向かうのかということは現在不明だが、それが予測できるのもそう遠い未来ではないと多くの人は感じている。

環境変化がもたらす様々な災害に対応しはじめた社会



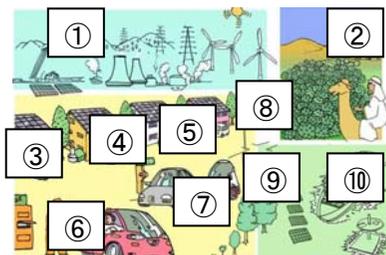
(イラストに関連するデルファイ調査の科学技術課題)

- \* デルファイ科学技術課題の先頭数字は、「分科会－課題番号」を表す。
- \* ( )内の数字は、デルファイ調査において予測された社会的実現年(社会に適用・普及する年)

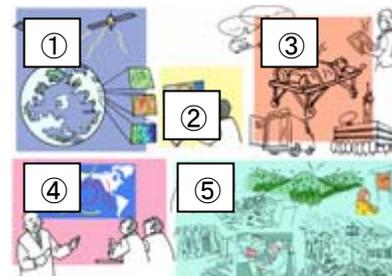


- ①4-80:生涯継続的地域 EHR(Electronic Health Record)を導入した、地域包括的ケアを可能にする統合的医療(2023)
- ②11-17:我が国において、カルテは動画を含み電子化され、患者個人の管理になり、検査その他の情報は全医療機関で共用され、それを元に患者と医療機関との間に健康管理エージェント業が成立する(2024)
- ③12-20:中山間地などの交通不便地域などに居住する高齢者や生活習慣病患者の生活を支援するため、IT技術を利用した遠隔診療システムや健康管理システムが確立され、通院しなくても必要な医薬品や療養食が補給される物流サービスが普及する(2020)
- ④4-83:医療従事者への医哲学教育(2018)
- ⑤4-84:医療従事者のためのシミュレーション技術を導入した医療安全教育(2018)
- ⑥4-66:救急医療において、地域格差を是正できる迅速対応可能な地域医療制度(2021)

- ①1-16:日常生活における健康維持と増進(カロリー計算、運動強度等)をソフトウェアで支援するユビキタスコンピューティング技術(2018)
- ②3-33:iPS 細胞により作成された、ヒトの細胞、組織を組み込んだ人工臓器(人工すい臓、人工腎臓、人工肝臓等)(2033)
- 3-34:iPS 細胞を利用した再生治療技術(2032)
- 3-35:がん化などのリスクを回避して、iPS 細胞を含む幹細胞を機能細胞に誘導し、治療に用いる技術(2030)
- 4-10:幹細胞を用いた筋再生および臓器再生技術(2031)
- ③2-05:個人の生活、健康状態、労働状況等を個人ごとに常時総合的に把握し、日常行動に適切なアドバイスをするシステム(2022)
- ④2-19:医者が遠隔地にいる患者と直接向き合っているかのように、優しく聴診器をあてたり、触診したり、口臭などを感じたりできる遠隔診察システム(2029)
- ⑤4-51:ゲノム情報による罹患リスク診断技術(2023)



- ① 1-27:電力供給を最適化するマイクログリッド技術(2020)  
6-53:発電所・分散型電源・需要機器の全体の需給バランスをICTで最適化し、低コスト、安定供給、低炭素化電力供給が可能な次世代送配電ネットワーク技術(2025)  
6-38:自然エネルギーの活用が充分に行われた高品質電力供給システム(2026)
- ② 8-64:水循環システムの海外運用についての戦略的開発で、世界シェア 30%を確保(2024)  
7-12:砂漠における植生再生の新技術(2029)  
8-49:砂漠・半乾燥地帯で、相応の食糧生産が確保される土地利用技術の普及(2030)
- ③ 6-35:太陽電池や燃料電池などをハイブリッド化した住宅用エネルギーシステムの本格普及(2019)  
6-52:宅内通信ネットワークを用いた家庭用エネルギーマネジメントシステム(HEMS)(2019)  
6-69:自然エネルギー、雨水・地下水等の利用したエネルギー自立型建築技術(2020)  
1-42:オール電化住宅用の電力貯蔵用電池技術(2026)
- ④ 6-67:高出力化・小型化、低 NOx 化をはかった、家庭用小型コジェネレーションシステム(2023)
- ⑤ 6-49:ハイブリッド自動車のバッテリーを用いた需要家内の需給制御(2022)
- ⑥ 6-41:移動体用低コスト二次電池(2025)
- ⑦ 1-43:一充電で 500km 走行可能な程高いエネルギー密度を持つ自動車用長寿命・高信頼二次電池技術(2025)
- ⑧ 12-44:交通信号のタイミングを検知し、燃費最小となるように自動調節する自動車と交通システムの普及(2025)
- ⑨ 1-49:駐停車時に逐次充電が可能な非接触充電インフラ技術(2023)
- ⑩ 6-20:変換効率 20%以上の大面積薄膜太陽電池(2027)  
6-21:大出力の海洋エネルギー利用発電技術(波浪、潮汐、潮流、海洋温度差発電)(2030)



- ① 8-43:CO2 を人工衛星から高精度で観測することで国別に吸収排出量を推定する技術(2025)  
8-30:衛星観測と地上観測の効果的な統融合により、流域単位での表流水・地下水循環を予測する技術(2027)
- ② 8-34:都市での物質循環や水利用を効率的に把握する情報解析技術(2024)
- ③ 12-17:想定を越えた災害時に、一般市民・高齢者・病人・けが人を被災地外に脱出させるための対策システム(2022)  
8-21:大気環境予測シミュレーションの高度化による、粒子状物質・オキシダント・窒素化合物などの大気化学天気図および予報(2024)  
5-25:陸海シームレスの観測データ整備(2026)  
7-19:水文(流域水循環)予測モデルや全球シミュレーションによる、水文と気象の融合技術(2026)  
8-23:大気・海洋・陸域の物質循環を同時に扱う地球システムモデルによる数十年規模の地球環境将来予測技術(2028)
- ⑤ 12-21:災害リスクの情報提供や教育により、地域住民と行政との協働による防災・減災の仕組みが稼働(2020)  
11-40:地域コミュニティの防災・福祉活動を向上させる情報システム・社会制度(2022)  
12-01:生態系や災害リスク分布などの統合情報にもとづく国土計画・管理技術・制度の実用化(2022)  
12-16:大規模災害時のリアルタイム被害把握や拡大予測技術の確立(2024)  
12-03:地域計画や都市計画において、将来の生活の質および災害リスク評価の両面から、土地・空間の利用と保全に関わるコントロール(2026)  
12-35:災害発生時にも高画質動画通信が可能で日本全土を網羅する無線通信システムの普及(2024)  
12-15:大規模な自然災害に対する備蓄(食料・医薬品・生活用品)や、インフラ機能(道路・電力通信)の補強が全国的に完了(2026)  
12-18:大型地震に対する都市機能の強化、社会・経済活動の制限、食糧備蓄、一部市民の避難を優先的に支援する制度の確立(2026)



## 1-2. 議論の焦点

ここでは、新成長戦略で取り挙げられているグリーンイノベーションとライフイノベーションに焦点を当て、若手ICT研究者・技術者・起業家の描く将来像の抽出を目的とし、彼らの社会的背景に対する認識、未来に対する当事者意識などが反映された意見の集約を試みた。また、科学技術の将来予測について具体的なイメージを形成するために、ICTを応用したグリーンイノベーションやライフイノベーションの事例についても検討した。

インターネット上の掲示板システムに加えて、近年では、ブログやSNS、さらにツイッターによるコミュニケーションが日常的に行われるようになった。さらに、高機能携帯電話に搭載されたムービーカメラやGPS機能を利用した新たなARアプリケーションも登場しているが、エンターテインメント分野での応用に偏っている。そこで、付加的な目的として、従来にないICTの新たな応用分野についても議論した。

## 2. 内容と結果

### 2-1. 方法

#### 2-1-1. 事前検討

2009年12月7日に協力者2名についてインタビューを行い、手法と方針について検討した。協力者は、当時、情報系の大学院博士課程に在籍しながら、ベンチャー企業の特別研究員を兼任する研究者と、企業の研究部門に在籍するブロガーである。

将来予測の方法については、予めプログラムを決めずに参加者に応じてセッション数や内容を設定するアンコンファレンスや、Ustreamによる中継、ツイッターのハッシュタグを利用した情報収集といった提案もあったが、規模が大きくなるため今回は少人数のフリーディスカッションによる調査を選択した。

#### 2-1-2. 方法

4～5名のフリーディスカッションを2回に分けて行った。日時は以下の通りである。

- 第1回 2010年2月23日(火) 15:00～18:00
- 第2回 2010年2月26日(金) 15:00～18:00

参加者は20～30歳代のICT研究者・技術者とした。第1回と第2回の参加者はそれぞれ、4名と5名であり、この中の1名は第1回と第2回の両方に参加している(付録B参照)。

フリーディスカッションでは、情報提供以外はすべて参加者にまかせ、議論の誘導をしないことにした。情報提供として、ディスカッションを開始する前に、以下の資料の一部を説明した(付録C参照)。

- 新成長戦略(基本方針) ～輝きのある日本へ～ 平成21年12月
- 産業構造審議会情報経済分科会の論点(案) 平成22年2月16日
- その他、世界の人口推移、地球の気候変動、世界の水資源、エネルギー・食糧自給率、国際競争力に関する資料

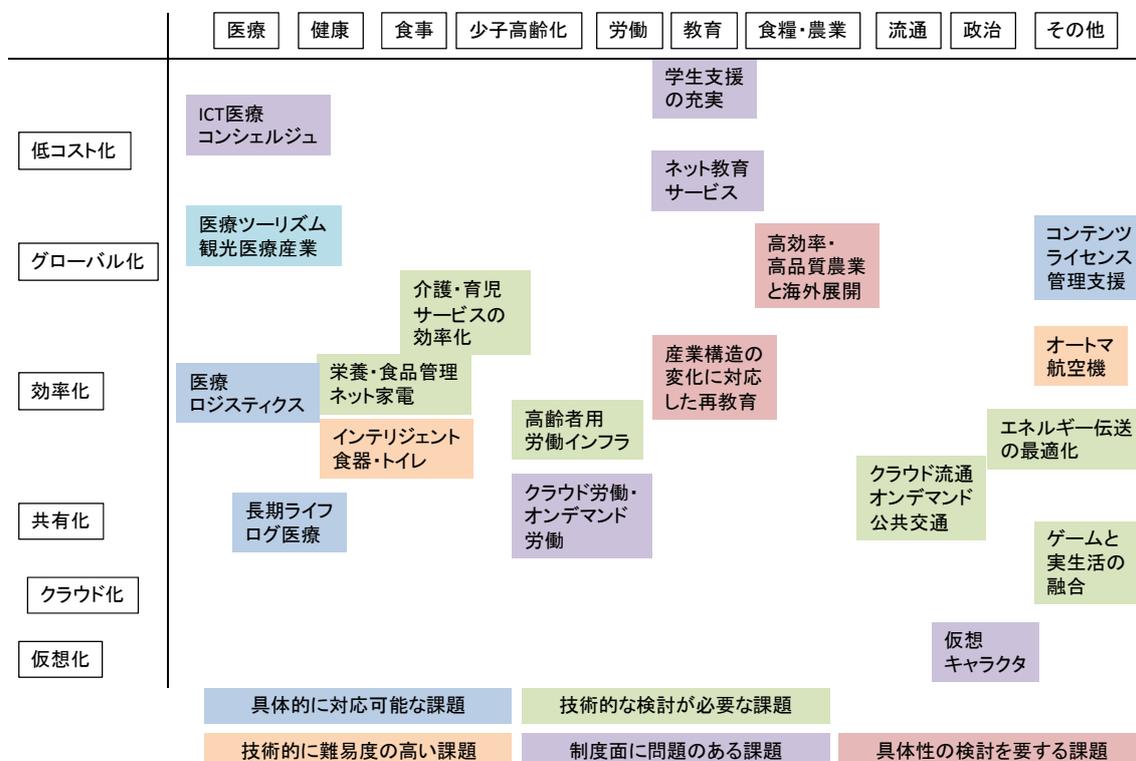
また、フリーディスカッション後にIPA 未踏 IT 人材発掘・育成事業「グリーンIT: 地球に優しいIT 技術、地球を護る IT 技術、サステナブルな IT 技術」プログラムのプログラムマネージャーを担当された、筑波大学の加藤和彦教授にインタビューを行った。

## 2-2. 結果

若手 ICT 研究者・技術者・起業家のフリーディスカッションで得られた将来像を図表Ⅲ-2-1 にまとめると、縦軸には将来像を描く上で共通要素となる低コスト化・効率化・共有化・仮想化を配置している。ここで、低コスト化と効率化を実現するための共通要素としてグローバル化という要素が考えられる。さらに、共有化と仮想化を合わせた概念としてクラウド化という要素が考えられる。横軸には、得られた事例の応用分野を示し、関連する分野が近傍になるように配置した。議論された課題は、状況に応じて以下の 6 種類に分類し、図表Ⅲ-2-1 ではそれぞれを色分けして表示している。

- (1) 具体的に対応可能な課題
- (2) 技術的な検討が必要な課題
- (3) 技術的に難易度の高い課題
- (4) 制度面に問題がある課題
- (5) 具体性の検討を要する課題

図表Ⅲ-2-1 若手 ICT 研究者・技術者・起業家の描く将来像





以下では図Ⅲ-2-1 に示された個々の課題について述べる。

#### (1) ICT 医療コンサルジュ

遠隔地間のコミュニケーションにより医療診断サービスを低コスト化する。双方向の映像伝送技術に加えて音声やテキストデータの自動翻訳技術が進めば、時差を利用して深夜に、海外に在住する医師による診察を在宅で受けることもできる。また、MEMS 技術などを応用した簡易検査キットによる患者自身による検査や長時間の生体モニタリングデータを利用した診療も実現される。さらに、医師が処方した薬剤を海外からネットサービスで購入するための制度が整備されている。国内の医療サービスを海外展開することも考えられるが、反対に、安価な海外の医療サービスが普及することによって、日本国内の医療サービス従事者が減少するといった懸念もある。実現には技術的な課題だけでなく、医療制度面についても検討を要する。

#### (2) 医療ツーリズム・観光医療産業

高度医療サービスや漢方・鍼灸・整体などの東洋医学に基づくサービスを来日する富裕層外国人向けに提供して医療を観光産業化する。例えば、最先端医療機器による治療や先進的な再生医療技術など付加価値の高いサービスを提供する。また、観光医療産業を創出して新規の雇用も確保する。

#### (3) 医療ロジスティクス

ICT を利用した遠隔診療やスケジューリング、さらにモバイル端末から診療の進捗をリアルタイムモニタリングできるサービスを提供して診療の待ち時間を 0 にする。また、救急車の配送から移植臓器の輸送までロジスティクス問題を最適化することで、効率化された医療インフラを実現する。

#### (4) 長期ライフログ医療

20～30 年間に渡る食事履歴データや生体モニタリングデータ、ゲノム情報、さらに、患者の場合には投薬に対する反応を長期ライフログとして記録し、オーダーメイド医療に利用する。これらの、データの提供者には保険や医療費を減額するといったインセンティブを与えるシステムも導入される。

#### (5) 栄養・食品管理ネット家電

画像認識技術や電子タグ技術を応用したり、冷蔵庫が保存されている食材を自動認識し、ネットワーク化された冷蔵庫が、料理コンテンツサービスと連携して栄養・健康管理に基づく食事のレシピを自動生成して利用者に提供する。また、保存されている食品の保存期間の管理や、消費された食材の補充を行うネットワークサービスも利用できる。さらに、外出先からでも携帯端末から、冷蔵庫に保存されている食材の情報や、前述の栄養・食品管理情報にもアクセスが可能となる。

## (6) インテリジェント食器・トイレ

箸やお椀などの食器にセンサと情報処理機能が組み込まれ、料理のカロリーや栄養のデータをリアルタイムモニタリングできる。食事中に摂取したカロリー量や栄養が一口食べるたびに累積カウントされる。これにより、設定した許容カロリーを越えると警告が出され、食事ナビゲーションによる健康管理が実現される。外出先でこのような食器を利用できない場合には、食事のシーンを画像解析した結果を眼鏡に表示するような AR 装置を使用することで、同様の機能を利用する。また、トイレでは使用者を自動認識し、排泄物のデータを分析して健康モニタリングを行い、異常が見られる場合には使用者に警告を与える。

## (7) 介護・育児サービスの効率化

各地で行なわれている介護・育児サービスをネットで簡単に検索でき、場所や時間、サービス内容に応じて適切なものを選択できるようになっている。また、介護用のベッドや車椅子に生体モニタリング機能やブレインマシンインターフェースのといった先進的ユーザーインターフェースを付加してベッドや車椅子をロボット化した装置を開発する。これらを商品化して少子高齢化の進む外国への輸出産業に発展させる。

## (8) 高齢者用労働インフラ

少子高齢化社会の到来は避けようのない状況であり、若年層人口を増やす努力だけでなく、高齢者も働いて社会を支えていくためのインフラを整備する。高齢者の場合には、加齢に伴う体力や視力、聴力など身体能力の低下は避けることができない。そこで、視力や聴力が低下した高齢者でも知的な労働ができるようなマンマシンインターフェースをもつ装置を普及させる。また、高性能パワーアシストスーツにより、高齢者でも普通の若者と同等の作業を可能にする。

## (9) クラウド労働・オンデマンド労働

ICT 利用により居住地域や労働時間などの物理的な制約を越え、多様なライフスタイルに合わせた就業を実現する。これにより、1 人当たりの生産性を向上させ社会全体での効率化がなされる。

本来は知的集約型であるべきソフトウェア開発でも実態は労働集約型に近いこともあり、企業の経営では固定費における人件費の比率を下げ、人件費も流動的な変動費として扱うことが望ましい。つまり、プロジェクトの状況に応じて、必要な人員を必要な期間だけ確保するといった雇用により効率化することで企業の競争力を向上させることができる。これを実現するためには、労働力を企業などの特定の組織が占有するのではなく、共有化し、さらに仮想化をすることで労働力を細分化された単位で有効に活用することができる。このような雇用システムが実現されると、企業は自社のコアコンピタンスに集中投資して、アウトソーシングができる仕事に関しては必要なときに必要な労働力を確保することができる。

#### (10) 学生支援の充実

米国では、企業や富裕層の個人が社会貢献として寄付を行うという慣習が根づいており、教育機関の運営でも不可欠なものとなっている。しかし、日本では個人による社会貢献が一般的であるとは言い難い。そこで、教育への投資として、奨学金制度を柔軟に運用するシステムを導入することにより、オンライントレードのように個人でも奨学金制度を利用して有望な学生の支援を可能にする。さらに、雇用が不足している業種を目指す学生にはインセンティブを与えることにより、雇用調整が行えるようにする。

#### (11) ネット教育サービス

ネット教育サービスが普及して、日本国内にいながら、いつでもネイティブピーカーによる語学学習サービスが低価格で受けられる。例えば、アラビア語会話の学習は中東の語学サービスを利用し、中国語は中国の語学サービスを利用することができる。また、大学や大学院の教育も変化し、最先端の研究・教育を行っている組織の提供する教育サービスが受けられる。

#### (12) 産業構造の変化に対応した再教育

インターネット上のサービスを始めとして ICT の普及は産業構造の変化を加速する要因となっている。例えば、オークションサイトなど電子商取引により従来の流通システムは変革され、クラウドコンピューティングにより、ソフトウェアパッケージ販売やソフトウェアのカスタマイズといった従来のソフトウェアビジネスが崩壊しつつある。このような産業構造の変化により、特定の業種については雇用が失われる可能性が十分に考えられる。余剰労働力を失業者とせず有効に活用するために、社会人の再教育システムが必要となる。

#### (13) 高効率・高品質農業と海外展開

安全で高品質な農産物の生産を植物工場やセンサネットワークや農作業ロボットなど ICT を応用農業により実現し、輸出産業に発展させる。また、鉄道や発電設備等の社会基盤インフラと同様に、数 10 年に渡るメンテナンスも含めて、高度農業システムを人口が急増する海外諸国に輸出する。

#### (14) クラウド流通・オンデマンド公共交通

事業組織別に分かれている各種交通機関の輸送能力を集約して仮想化することで、物流の単位を細分化、再構成できるシステムを導入して効率化をする。例えば、運輸機器の空きスペースがあれば、この輸送力の切り売りを可能にする。そうすると、個人利用者からは条件に適合する場合には低価格な配送サービスを選択して利用する物流オークションが実現される。また、利用者が少なく運行本数の少ない公共交通では、利用者の要望に応じて運行経路や運行時間が適応的に設定されるオンデマンドバスのような公共交通システムが普及することで利便性が向上する。

#### (15) 仮想キャラクタ

ICTによる新たなコミュニケーションにより、効率的に多様な意見を集約することと、埋没しがちな個人の意見を反映することも技術的には可能になっている。住民や団体の代表を仮想キャラクタとし、集団として意思決定を効率的に進める。技術的には選挙や投票の概念も拡張することができ、実在する代議士を選ばなくても、仮想的な政治家のキャラクタ(代議士アバター)に有権者の意見を反映させることで政治の仕組みが変化する。

#### (16) コンテンツ・ライセンス管理支援

個人や規模の小さな企業で優れたコンテンツを制作して海外展開しようとしても、ライセンス契約からライセンス管理まで対応するのは困難である。そこで、公的機関がライセンス契約など法的な業務を支援することで、国産コンテンツの海外普及を促進する。

#### (17) オートマ航空機

現代の航空機やヘリコプターの操縦ができるようになるには、様々な知識の習得と長期間の訓練が必要とされる。長期間の特殊な訓練を受けなくても、誰にでも航空機やヘリコプターが短期間の教習によって習得できるように操縦補助技術を高度化する。

現在の自動車には100以上のマイクロプロセッサが搭載され、高度化された電子制御技術によって、実質に人間が自動車を操縦している比率は20%程度とも言われている。古くから存在するオートマ車はその典型であるが、カーナビやITSによる安全システムや渋滞回避システム、カメラや距離センサと用いた衝突回避機能、さらに、ドライバーの居眠りを検知して警告する機能も実現され、人間から周囲の環境まで含めてモデル化した高度なシステムとなっている。このような技術を発展させ、自動車のオートマ限定免許のように、素人でも短期間で航空機やヘリコプターの操縦を習得できるようにする。

#### (18) エネルギー伝送の最適化

太陽光発電、風力発電やマイクロ水力発電など再生可能エネルギーの導入により、発電設備の小型・分散化が進み、電力供給基も従来の大手電力会社によるサービスに限定されず多様化する。大型の火力発電所や原子力発電所と比較して、再生可能エネルギーの場合には電力供給の安定性が課題とされているが、ネットワーク最適化技術を応用して効率的で安定なエネルギー伝送を実現する。

#### (19) ゲームと実生活の融合

日常生活ではすでに電子マネーや各種ポイントを導入したサービスによりゲームの要素が入り込んでいる。サービスを提供する側にとっては、サービスの差別化、顧客囲い込みといった効果があり、反対に利用者としてはサービスを選択することによってインセンティブが得られるという利点がある。このようなサービスを健康保険や公共サービスにも導入することで、健康

管理に注意を払っている人には保険料を減額するといった多様なサービスを実現する。また、移動時に徒歩や自転車、あるいは、エネルギー消費の少ない公共交通機関を選択すると環境負荷に応じたポイントが加算される。

### 3. 議論から得られた傾向

得られた提案やアイデアを整理すると、ライフイノベーションに関する内容が多い一方で、グリーンイノベーションに関する内容が少ない結果となった。

医療や少子高齢化、労働・雇用・教育は若い世代にとっても身近で問題であるため、ライフイノベーションに関して多くの議論がなされた。20～30 歳代であっても祖父母の存在から介護医療サービスや介護医療における人材不足は深刻な問題と認識している。また、大学院に在籍する参加者からは、一人っ子政策を実施している中国や少子高齢化が急速に進む韓国の留学生にとって、少子高齢化問題は日本よりも深刻であるといった指摘もあった。幼児をもつ参加者からは、救急医療システムや医療機関の偏在など問題も指摘された。

労働・雇用についても、30 歳代の参加者では、両親の定年退職や再就職は身近な問題であり、高齢者の雇用ミスマッチの問題を指摘している。また、インターネットや携帯電話など通信インフラを利用した新しいサービスの登場により、産業構造が短期間に変化しつつあることも指摘された。新たな産業によって雇用が創出される一方、存在価値を失った職種が消滅することもある。このような産業構造の変化によってもたらされる余剰労働力を失業者とせず、社会人の再教育によって活用できるようにすべきといった意見が出された。

医療ツーリズムのように外国人を日本に呼び込むビジネスが考えられているが、反対に、インターネット上の医療診断サービスのように国内需要が海外に流出することも懸念される。実際に、教育については、すでに語学教育では海外のサービスを国内で利用するといった状況になってきている。ICT を利用したサービスのグローバル化によって医療や教育といった公共サービスが従来の制度では対応しきれず、根本的な見直しをせざるを得ない状況になりつつある。安価な輸入品が普及するのと同様に医療や教育など公共サービスに近い領域でも海外の安価なサービスが国内で普及し、医療や教育従事者が減少するという懸念もある。

全体として、20～30 歳代の参加者であっても、祖父母や父母の世代、あるいは子供との家族関係によりライフイノベーションへの関心については世代間の格差が小さいと言える。一方、グリーンイノベーションについては、ロジスティクス関連の最適化・効率化については議論がなされたが、地球温暖化や農林漁業・食糧生産についても問題意識はあるものの、正確な情報が十分になく議論をしにくいという意見が共通していた。

エネルギー問題については、短期的には化石燃料依存からの脱却、将来的には原子力エネルギー依存からの脱却が技術的な課題として共有されていた。一方で、温室効果ガス排出による地球温暖化問題に対しては懐疑的な見方が多く、議論の前提があいまいになり参加者からは意見を出しにくいという結果になった。

問題解決の方向性が複数ある問題、例えば、食糧生産の効率化・低コスト化と食糧の国内自給

率の向上のように、効率化・低コスト化を重視すれば、人件費や地理的な問題から食糧の国内自給率向上は非効率で矛盾し、反対に国内自給率の向上を重視すれば効率化・低コスト化が犠牲にせざるを得ないといった意見も出された。

また、将来の方向性については、戦後～1980年代の経済成長を継続する方向、自然に回帰したライフスタイルを選択する方向、また、現在のライフスタイルを維持するといった方向などの選択肢が存在する。そのため、科学技術の将来予測の前提となる将来のライフスタイル、および、社会システムに対するイメージが共有されていないため議論を進めにくいといった意見も出された。今回の調査では、ICT関係の参加者を中心にしたため、インターネットや携帯電話を利用したサービスに関しては新たな視点からの意見が得られたが、グリーンイノベーションに関連する提案や意見の集約が十分とは言えない結果となった。

今回は議論が不十分であった環境・エネルギーや農業問題の若手研究者を参加者に含めたフリーディスカッションは検討課題の一つである。特に、今回のフリーディスカッション参加者の場合、起業している研究者・技術者が多く、20～30歳代の平均的な考え方を反映しているとは言い難い。そういった点からも、複数の専門分野からの参加者を集めるのが望ましい。また、農業の効率化と国内自給率の向上のように、問題を解決するための方策が分かれるような課題については、複数の選択肢について個別に議論を進める形式にすれば、議論の深めることもできたように思われる。

多くの情報を短期間に集めるのであれば、ウェブ上の掲示板システムも利用が有効と思われるが、オープンにして誰でも内容を確認して発言ができるようにする場合、アカウントとパスワードによって利用者を制限するクローズな場合など運用にはいくつかの選択肢がある。また、ツイッターを用いた意見収集も有効な手法と考えられるが、議論の過程がオープンになるため内容が発散しやすく、多くの情報が得られたとしても有用な意見を的確に抽出する手法についての検討が必要となる。

総じて、少子高齢化や医療問題、食糧問題などライフイノベーションに関することについては、意識が高いことが確認された。これらの問題と比較すると、環境問題に関しては実感が湧かず切実な問題とは捉えられていない傾向にある。今回は、20～30歳代の参加者を集めたが、結果として起業している参加者が多く、ビジネスに対する意識の高い人が調査対象となった。そのためか、ICTによってグローバル化がすでに部分的に始まっている教育や医療関連サービスに関するディスカッションが活発に行われた。また、参加者からは日頃、20～30年先の将来について考えることがなく、刺激になったといった感想もあり、このような成果をイノベーション創出に結びつける方策を検討したい。

#### 4. 調査結果のまとめ

将来を担う20～30歳代のICT研究者・技術者・起業家による将来予測に関するフリーディスカッションを行った。主にグリーンイノベーションとライフイノベーションについての議論を仕向けた結果、少子高齢化や医療問題、食糧問題などライフイノベーションに関することについては意識が高いこ

とが確認された一方で、これらの問題と比較すると、環境問題に関しては実感が湧かず切実な問題とは捉えられていない傾向にある。

若手 ICT 研究者・技術者の描くグリーンイノベーション・ライフイノベーションに関するイメージは、全体的に以下でまとめられる。

#### ○ 若年層の将来社会へのイメージ

- 前提となる将来のライフスタイルについては、戦後の経済成長で目指してきた物質的に豊かなライフスタイルも、自然回帰するライフスタイルのどちらにも違和感をもっている。成長戦略の先にある将来のライフスタイルが明確に定まらず、成長戦略の目的が理解しにくいという意見もあった。
- エネルギー問題については、短期的には化石燃料依存からの脱却、将来的には原子力エネルギー依存からの脱却が技術的な重要な課題として共有されている。一方で、温室効果ガス排出による地球温暖化問題に対しては懐疑的な見方もあり、現状では情報不足で議論を進めにくいという意見が大勢を占めた。
- 若年層であっても祖父母が身近にいることから、少子高齢化社会における医療問題や高齢者介護の問題は深刻に受け止めている。現在の若年層が中高年層になるまでの時間が20-30年間であり、この期間に課題を解決するための技術的な進歩が必要と考えている。

#### ○ ICT を応用したグリーンイノベーション・ライフイノベーション

- グリーンイノベーションについては、エネルギー供給ネットワークが物流ネットワークなどの最適化が必要であり、共有化と仮想化を基盤としたクラウドコンピューティングの考え方を他分野に応用するといった議論がなされた。
- ライフイノベーションについては、高齢者の社会参加を促進することが必要という認識で、加齢により体力や視力・聴力等が低下した高齢者も就業できる労働インフラ整備が挙げられた。具体的には、高度なマンマシンインターフェースの重要性について議論された。

#### ○ ICT のもたらす変化

- 医療情報システムや e-Learning など医療や教育における ICT 応用は進められているが、さらに、ICT によって医療・教育サービスのグローバル化が急速に進むと認識している。国内サービスの海外展開が可能になる一方で、国内のサービスが海外の安価なサービスに置き換わるという懸念もある。
- 若年層の労働・雇用に関しては、イノベーションによる雇用の創出といったメリットよりも、産業構造の急激な変化によって発生する余剰労働力を失業者にせず、有効に活用するための社会人再教育システムの必要性が強調された。

- その他、ネットワークサービスを日常的に利用している世代の考え方として特徴的と思われる将来予測の事例を以下に示す。
  - ICT 利用による介護や育児サービスの充実
  - 個人が個々の学生に対して**簡単に**奨学金を提供できるシステム
  - 仮想キャラクタによる集団の意思の反映と効率的な意思決定への応用

また、グリーン ICT 研究に関して筑波大学の加藤和彦教授に意見を伺ったところ、情報系の若手研究者のグリーン ICT への取り組みにおける課題が得られた。現在、低消費電力技術については研究が進められているものの、その他の環境や農業に関連するセンサネットワークなどのグリーンICTの研究者が世界的に見ても少ない状況にある。グリーンICTでは、環境や農業などの異分野と連携して研究を進める必要があるが、研究業績が求められる若手研究者の場合には、リスクのある新しい研究領域に取り組むのは容易ではないという現状である。グリーンイノベーションに向けた、異分野交流の推進は今後の課題として残されている。

## 参考文献

- 1) IT 勉強会カレンダー  
<http://www.google.com/calendar/embed?src=fvijvohm91uifvd9hratehf65k@group.calendar.google.com&gsessionid=SDCUkyypNtOrRPbxAUwyg>
- 2) 関西学院大学シナリオFST 実行委員会, インターネット上の討論を利用した若い世代が描く科学技術の将来像に関する研究(ヤングシナリオ調査)報告書, 2005 年 11 月
- 3) 新成長戦略(基本方針) ～輝きのある日本へ～ 平成 21 年 12 月,  
[http://www.kantei.go.jp/jp/singi/kokkasenryaku/pdf/20091230sinseichousenryaku\\_image.pdf](http://www.kantei.go.jp/jp/singi/kokkasenryaku/pdf/20091230sinseichousenryaku_image.pdf)
- 4) 産業構造審議会情報経済分科会の論点(案) 平成 22 年 2 月 16 日,  
<http://www.meti.go.jp/committee/materials2/downloadfiles/g100216a05j.pdf>

## 付録

### 付録 A フリーディスカッションの案内

#### 未来予測ディスカッション ～ ICT とグリーン・健康 ～

科学技術政策研究所  
科学技術動向研究センター

下記のとおり未来予測ディスカッションを開催いたします。2 日間に分けて開催しますので  
両日、もしくは、どちらか 1 日のご参加いただける方は、お名前・ご所属・参加日時を下記フォームにて  
登録先へメールにてお知らせいただきますようお願いいたします。

日時： 2010 年 2 月 23 日(火) 15:00～18:00

2010 年 2 月 26 日(金) 15:00～18:00

場所： 霞ヶ関ビル 30 階 3026 会議室(科学技術政策研究所会議室)

<http://www.kasumigaseki36.com/access/>

#### 開催趣旨

温室効果ガスによる地球温暖化、世界的なエネルギー資源の枯渇や水・食料不足が世界的規模の  
問題が懸念され、一方、日本国内では少子高齢化社会がかつてない速度で進行しています。環境負  
荷の低い過去のライフスタイルに戻るとい考え方もありますが、持続的な経済成長なくして社会基盤の  
整備や公共サービスの充実は望めません。しかし、経済的成長を支えていた国内産業は新興国の台  
頭など国際競争の激化によりかつての優位性を失いつつあり、産業構造のみならず社会的構造の変革  
が求められています。1990 年代以降の Internet や携帯電話の普及により我々の生活は大きく変化し、  
例えば、ICT を利用することで、以下のような商品やサービスが登場しています。

健康 × ICT = Wii Fit

漁業 × ICT = 船上とれたてオークション

また、欧州では国境を越えた医療サービスや、安全性だけでなく環境負荷まで含めた世界的なフード  
レーサビリティを実現するための枠組みが検討されています。このように、社会基盤や公共サービスは  
ICT の応用分野として有望な市場とみなすこともできます。そこで、今回は、ICT とグリーン(環境、エネ  
ルギー、資源、水・食糧など)、健康・医療を中心に、具体的には、

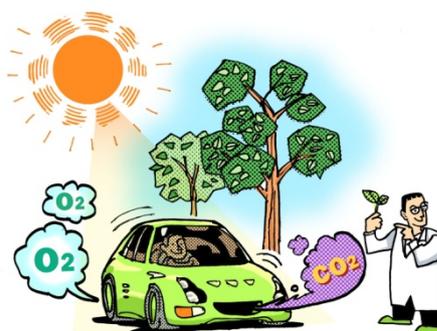
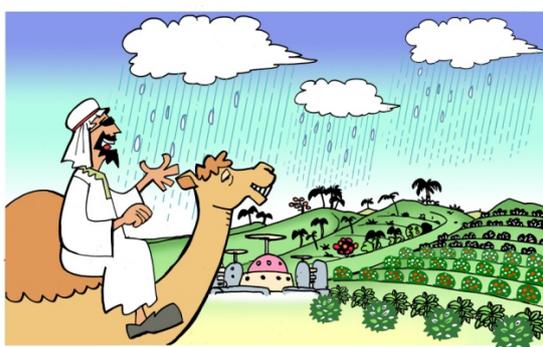
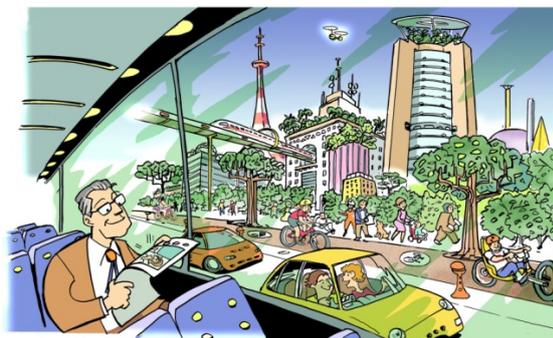
健康 × ICT = ○○

グリーン × ICT = ○○

○○ × ICT = 少子高齢化社内における○○

といった組み合わせによる、社会的な課題の解決や新規サービスの創出など 20～30 年度の未来につ

いて考えていきたいと思ひます。



内容についての連絡先:

科学技術動向研究センター 古川・横尾 [stfc@nistep.go.jp](mailto:stfc@nistep.go.jp)

参加希望の登録先:

科学技術動向研究センター 古川・横尾 [stfc@nistep.go.jp](mailto:stfc@nistep.go.jp)

(ご参加いただいた方には若干ではございますが謝金をお支払いいたしますので、手続きのため印のご持参をお願いいたします。なお、ディスカッションの内容については、報告書としてまとめさせていただきますが、発言内容について匿名をご希望の方はその旨をお伝えください。)

参加申込フォーム

To: [stfc@nistep.go.jp](mailto:stfc@nistep.go.jp)

Subject: forecast

氏名 :

所属 :

E-mail :

参加日時 : 2月23日(火)[ ] 2月26日(金)[ ]

その他 :

## 付録 B フリーディスカッションの参加者

2010年2月23日(火)

- 岡野原 大輔 株式会社プリファードインフラストラクチャー 特別研究員
- 毛利 真克 株式会社あゆた 代表取締役
- 秋元 裕樹 アジアジン 代表  
サイボウズ・ラボ株式会社 ブロガー
- 竹迫 良範 サイボウズ・ラボ株式会社

2010年2月26日(金)

- 秋元 裕樹 アジアジン 代表  
サイボウズ・ラボ株式会社 ブロガー
- 小山 文彦 株式会社ゴーガ 代表取締役
- 牧 大介 株式会社コマ・システムズ 代表取締役 社長
- 村上 純一 株式会社フォティーンフォティ技術研究所 技術本部先端技術研究部長
- 清田 一郎 ギズモード・ジャパン 編集長

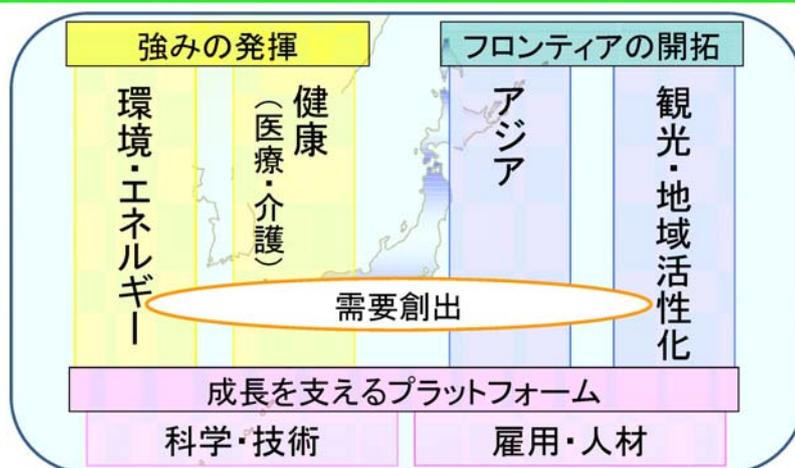
付録C フリーディスカッションで提示した資料

以下にフリーディスカッションを行う際に情報として提示した代表的な資料を示す。

(1) 新成長戦略(基本方針) ～輝きのある日本へ～ 平成 21 年 12 月

**「需要」からの成長 ～豊かな国民生活を目指して～**

- GDP成長率: **名目3%、実質2%を上回る成長** (2020年度までの平均)
  - 名目GDP: 2009年度473兆円(見込み)を**2020年度650兆円**程度
  - 失業率: 3%台へ**の低下(中期的)
- を目指す



3

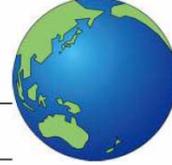
**日本の強みを活かした成長**

環境・エネルギー	健康(医療・介護)
	
<p><b>【2020年までの目標】</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>●新規市場50兆円超、新規雇用140万人</li> <li>●日本の技術で世界の排出13億トンを削減</li> </ul> <p><b>【主な施策】</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>●固定価格買取制度拡充等による再生可能エネルギー拡大支援</li> <li>●住宅・オフィス等のゼロエミッション化</li> <li>●革新的技術開発の前倒し</li> <li>●エコ社会形成に向けた集中投資事業</li> </ul>	<p><b>【2020年までの目標】</b></p> <p>需要に見合った産業育成と雇用の創出</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>●新規市場約45兆円、新規雇用約280万人</li> </ul> <p><b>【主な施策】</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>●医療・介護・健康関連産業の成長産業化 (民間事業者等の参入促進など)</li> <li>●革新的な医療技術、医薬品、機器の研究開発・実用化推進</li> <li>●アジア等海外市場への展開促進</li> <li>●バリアフリー住宅の供給促進</li> </ul>

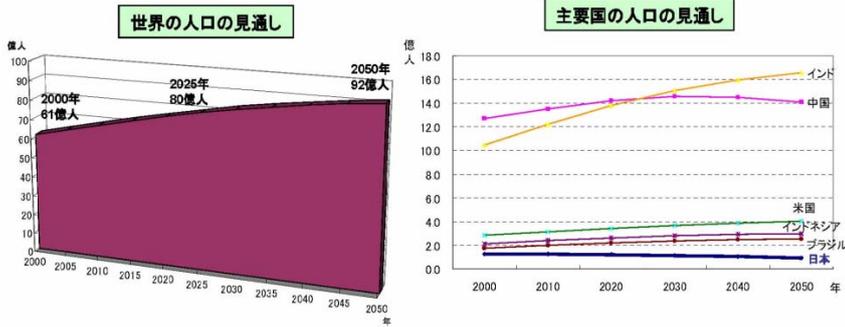
4

## (2) 世界の人口推移

### 世界の人口推移



- 世界の人口は増加傾向(2000年→2050年で約50%増)
- 国別では、一貫して中国・インドの人口が多いが、特にインドで著しい増。



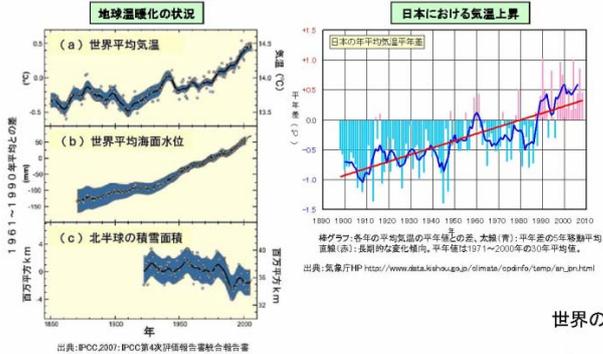
出典: 世界の統計2009(総務省統計局)

世界の人口は、爆発的に増加。

## (3) 地球の気候変動

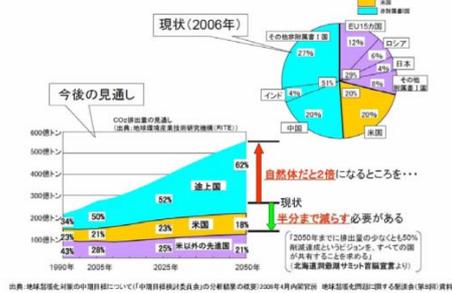
### 地球の気候変動 —温暖化—

- 世界においても日本においても実績値として気温上昇の傾向が見られる。



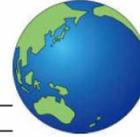
地球は温暖化している。  
CO2排出量は増加していく。

### 世界のCO2排出量

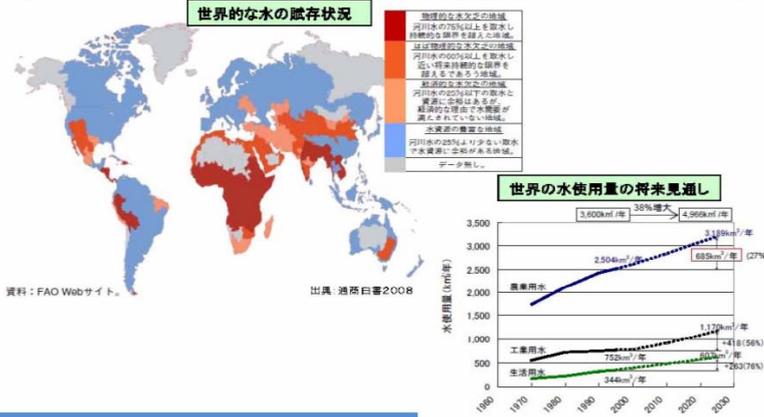


(4) 水資源の偏在・水の需要増

水資源の偏在・水の需要増



○ 世界の水使用量が大幅に増大することが予測される中、水資源は偏在。



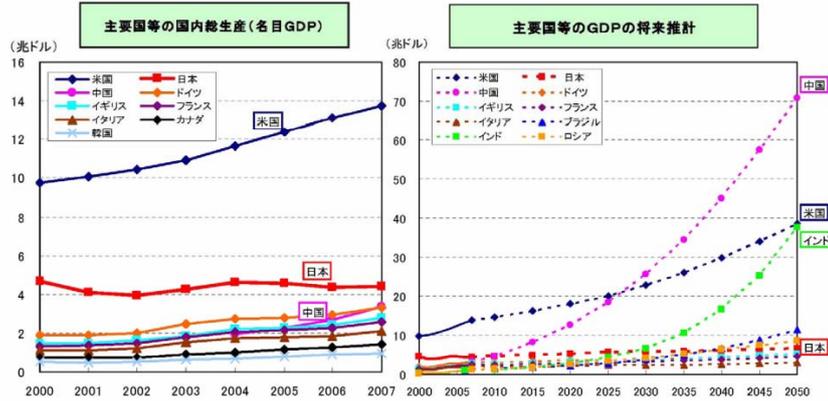
世界では、水さえも手に入らない地域が増加していく。

(5) 国際競争力 - GDP -

国際競争力 - GDP -



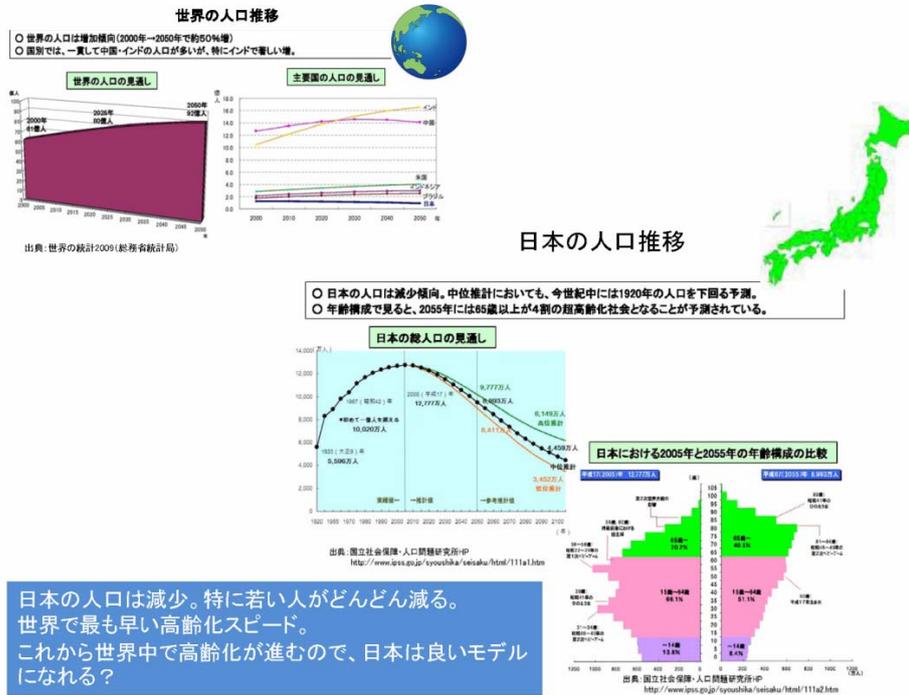
○ 2000年台において、主要国の名目GDPが微増傾向にある中、日本の名目GDPはほぼ横ばい。  
○ 2030年までには、中国が米国のGDPを、インドが日本のGDPを越えたとの予測もある。



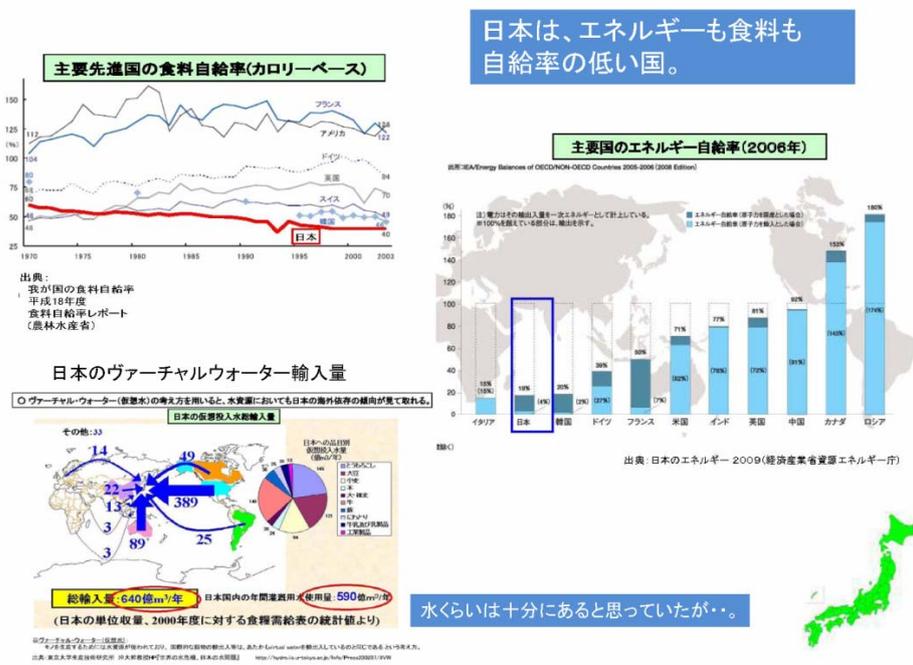
☆GDP: (Gross Domestic Product: 国内総生産)とは、一定期間内に国内で産み出された付加価値の総額。

世界の国際競争力は、これから、大きく変化すると予想されている。

## (6) 日本の人口推移



## (7) 食糧・エネルギー自給率とバーチャルウォーター



(8) 産業構造審議会情報経済分科会の論点(案) 平成 22 年 2 月 16 日

I-2. ITソリューション産業の現状と課題

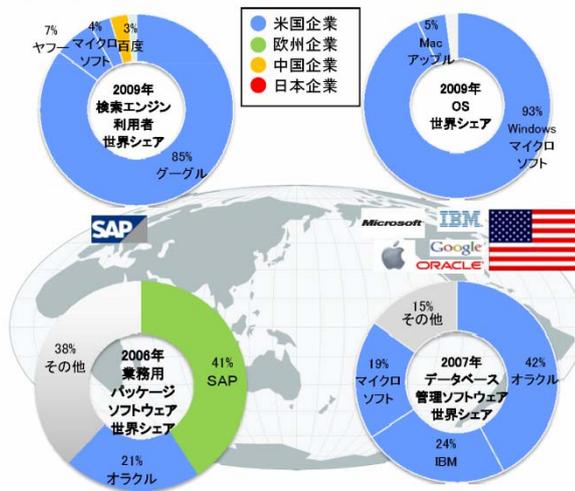
○ITソリューション産業は従業者数約86万人とエレクトロニクス産業にも匹敵する雇用を抱えている。  
 ○我が国のITソリューション市場は、米国・英国に次ぐ世界第3位の規模であるが、誰もが使わざるを得ないサービス基盤（OSや汎用パッケージソフト等）では米国勢の独壇場。

日本のITソリューション産業の売上高・従業者数の推移

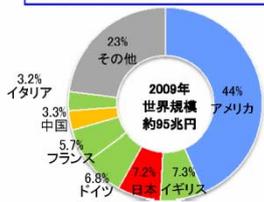


(出所) 経済産業省「特定サービス産業実態調査」

世界のITソリューション市場における主要製品・サービスのシェア



世界のITソリューション市場(国別)



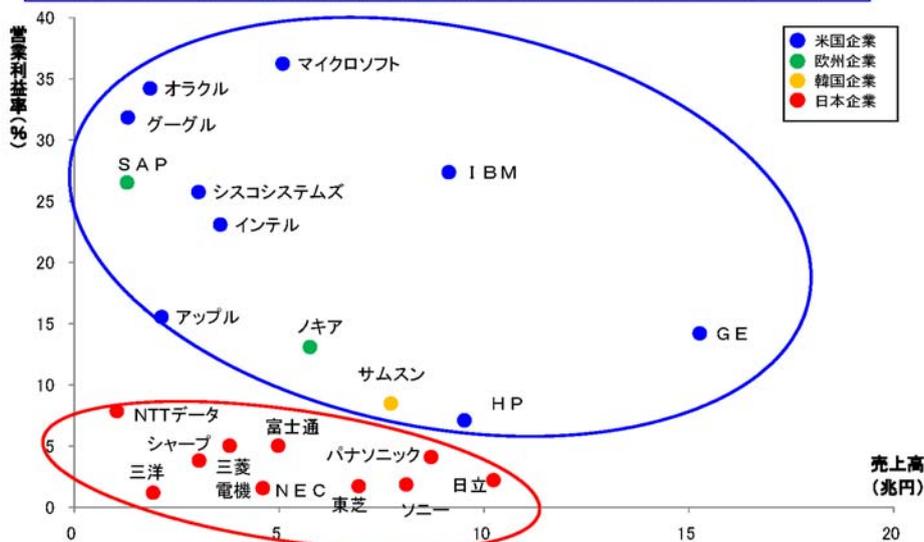
(出所) Digital Planet 2008(World Information Technology and Services Alliance)

(出所) ガードナー資料、MURC資料より経済産業省作成 6

I-3. 世界と日本の主要プレイヤー比較

○日本勢は、世界の主要プレイヤーと比較して、売上高・営業利益率で大きな差。

世界の主要エレクトロニクス・IT企業の売上高・営業利益率の比較(2005~2008会計年度平均)



(出所) MURC「IT産業の社会インフラ分野への国際展開調査(JIPDEC委託)」, 各社決算情報から経済産業省作成

# IV-1. ITによる産業の高次化(1.5、2.5、3.5次産業化)

○我が国の労働生産性は先進国で低い水準。産業別に見たIT投資は、諸外国と比較しても量も質も不足。  
 →ITによって、農業・製造業・サービス業を高次化(1.5、2.5、3.5次産業化)していくことが肝要ではないか。

## OECD加盟諸国の労働生産性(2008年/30ヶ国比較)



(出所)日本生産性本部「労働生産性の国際比較2009年版」

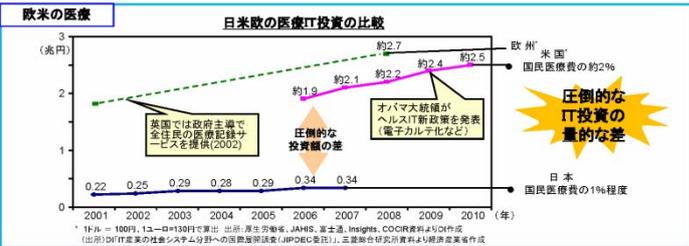
## 世界の産業別IT支出予測



世界のIT支出はGDP比約3%水準  
 日本のIT支出はGDP比約1%水準

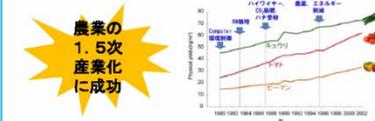


(出所)ガートナーよりJRC作成/IDC Japan(2009年9月)より経済産業省推計



## オランダの農業

○総人口は日本の16%、耕作面積は20%  
 ○最終には厳しい条件ながら、農産物輸出額は、米国に次ぐ世界第2位  
 (花き、畜産性農産物、野菜等)  
 →ITの活用等によって、労働生産性を1980年の倍以上に向上



- 大規模施設
  - データコンピュータの活用
  - システム化・ロボット化
  - 精密栽培
  - 高収量品種
  - 家畜収量増加の誘導
- 農業データを高次化した管理
- 小規模施設中心
  - 温度中心の人的環境管理
  - 全て手作業
  - 種とんぼは土耕
  - 高収量品種なし
  - 土づくり農業
- 経験と勘による管理

(出所)池田英男「高生産性オランダ・トマト栽培の発展にみる環境・栽培技術」

## 第V部 総括

本調査は、今回の予測調査のなかでも、将来的に科学技術が目指す将来のイメージを明らかにし、そこで生じるグローバル課題・国民的課題に対して、それらを解決していくための科学技術を明らかにしようとしたものである。特に、科学技術がチャレンジしていくべき方向性(グランドチャレンジ)に対し、将来社会の変化と知の統合の枠組や道筋を、シナリオライティングなどの手法を用いて、異なる3つのアプローチにより明らかにすることを試みた。

### (1) グループワークによるシナリオライティング

専門家の自発的グループによる学際的なディスカッションによって、15～30年後の将来社会像とそれに貢献するはずの科学技術を考案していただき、12グループ、のべ51人による将来シナリオが提示された。結果的に、複数領域の科学技術の複合的な成果と社会システムの整備によって、グローバル課題や国民的課題に向けてひとつの解を示していく枠組や道筋が例示的に示された。時間的制約もあって個々のイメージ作りには不十分な点もあり、また定量性には乏しいものの、将来のイメージを明確にすることにより、従来の分野や領域に捉われない科学技術の枠組や道筋を形成しうることが明確になった。

### (2) デルファイ調査結果に基づく将来シナリオ

デルファイ調査の結果(デルファイ法によるアンケートの結果)から得られた情報により、2025年の科学技術の社会への貢献を、国民生活のシーンとして描いた。2025年までに国民が生活のなかで実感できる科学技術の成果は現在すでに試験的に実施されているか、あるいは一部で実用されているものが多いが、日常のなかで健康を享受したり、環境に配慮したインフラが当たり前のようにになっているような国民生活とともに、次々と生み出される科学技術の研究成果が国民生活へ将来の希望を与えている様子が描かれた。

### (3) 若い層による将来社会の検討

若手のみからなるグループディスカッションにより、特にICTが医療・介護・教育・労働・環境などにどのように貢献しうるかを抽出した。若手は身近な生活の問題については新たな解を見出すことができるが、環境問題のように実感しにくい課題はイメージしにくいことが判明した。これには環境教育などの充実が必要と考えられる。

以上の3つの補完的なアプローチにより、科学技術の成果によって将来のグローバル課題・国民的課題に具体的な解を与えていく様子を数多く例示することができた。

## 調査担当

(2010年3月現在)

### 文部科学省科学技術政策研究所

奥和田 久美	科学技術動向研究センター長	(統括)
市口 恒雄	科学技術動向研究センター客員研究官	(第Ⅱ部、第Ⅲ部)
重茂 浩美	科学技術動向研究センター上席研究官	(第Ⅱ部、第Ⅲ部)
古川 貴雄	科学技術動向研究センター上席研究官	(第Ⅱ部、第Ⅳ部)
横尾 淑子	科学技術動向研究センター上席研究官	(第Ⅱ部、第Ⅲ部)

### 財団法人未来工学研究所 (第Ⅱ部担当)

菊田 隆	科学技術政策研究センター主席研究員
米川 聡	科学技術政策研究センター主任研究員
大竹 裕之	科学技術政策研究センター主任研究員

本レポートに関するお問い合わせ先

文部科学省科学技術政策研究所  
科学技術動向研究センター

〒100-0013 東京都千代田区霞が関三丁目2番2号  
中央合同庁舎7号館東館16階

TEL: 03-3581-0605

FAX: 03-3503-3996

\* 本報告書の引用を行う際は、出典を明記願います。