



Science & Technology Trends

# 科学技術動向

9  
2013  
No.138

レポート・トピックス タイトルをクリックすると 各項目にジャンプします

## レポート

p 4

巨大地震に備えた消防防災研究の方向性 (その1)  
—東日本大震災の火災被害を踏まえて—

p12

将来社会のために先行的に取り組むべき  
研究領域の導出—ドイツにおける試み—

p18

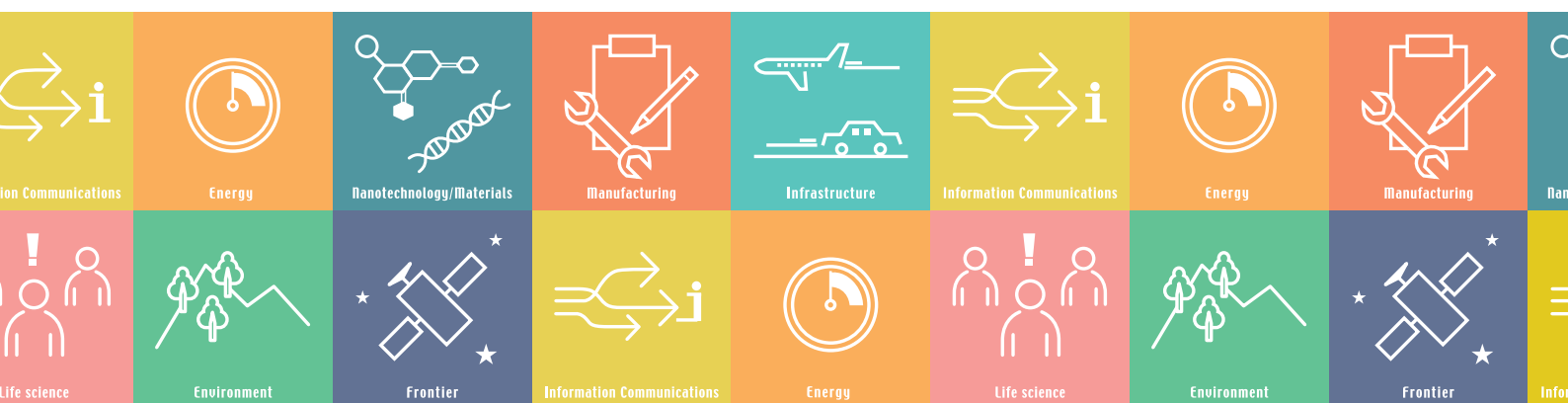
地球環境研究に関する国際プログラムの動向  
—Future Earthについて—

p25

健康長寿社会の実現に向けた  
喫煙リスク研究の動向

p33

各国の地球観測動向シリーズ (第3回)  
中国の地球観測活動の方向性  
—欧州から学び地球観測応用範囲を拡大—



本文は p.4 へ

## 巨大地震に備えた 消防防災研究の方向性（その1） —東日本大震災の火災被害を踏まえて—

2011年3月11日に発生した東日本大震災は未曾有の被害をもたらした。震災直後に総務省消防庁長官は、阪神淡路大震災での広域応援の必要性の認識を踏まえて整備された緊急消防援助隊の出動指示を初めて20都道府県に対して行った。緊急消防援助隊の延べ派遣数は、6月6日までの88日間で、44都道府県の712消防本部から3万人を超え、全国の消防職員の約5分の1が、岩手県、宮城県、福島県、茨城県、千葉県、新潟県等の全部で8県において応援活動を実施した。消防庁では、消防研究センターにより火災等の被害の現地調査を行った。火災等の調査では、ヒアリング調査、空撮映像分析、危険物施設の津波による被害等を整理した。これらの調査結果から、安全な社会の構築に向けて、意思決定に有用な情報技術の開発、延焼要因の解明と防火対策、消防・救助活動のための技術開発、津波対策に関する研究開発、防災に関する技術開発などといった推進が不可欠であることが示された。

本文は p.12 へ

## 将来社会のために先行的に取り組むべき研究領域の導出 —ドイツにおける試み—

科学技術イノベーション政策の検討に当たっては、将来社会の課題解決のため先行して取り組むべき研究領域や制度整備を明確化することが求められている。そのため、社会変化の方向性を捉え、研究開発やイノベーションの芽を見出すための取り組みが各国で行われている。

ドイツでは、2007年から「フォーサイトプロセス」を実施している。このプロジェクトは、技術指向と需要指向という対極にあるプロジェクトの実施を経て設計され、新しい学際領域や将来の社会変化に対応する研究領域に着目して分析が進められている。学際研究トピックの抽出とグルーピング、トレンドを先取りしているリードユーザーの活用による潜在ニーズの抽出など、科学技術と社会の潜在可能性を捉えるための多様な手法が用いられている。また、政策検討に繋げるため、導出された新学際領域について発展的な議論を行う期間が設けられていることが、従来とは異なる新たな取り組みである。

本文は p.18 へ

## 地球環境研究に関する国際プログラムの動向 —Future Earth について—

地球環境研究に関して国際科学会議（International Council for Science：ICSU）が推進する複数の国際研究プログラムが再編成され、Future Earth という新プログラムが2015年から10年間実施される予定となり、現在、実行体制の整備が進められている。Future Earth は、これまで実施されてきた、地球圏・生物圏国際共同研究計画（IGBP）、地球環境変動の人間の側面に関する国際プログラム（IHDP）、生物多様性科学国際共同研究計画（DIVERSITAS）などを引き継ぐものであり、対象とする課題の広がりとはそれらと近いが、地球環境の限界の中で人間社会を持続可能なものに転換していくという社会的課題解決を志向することをさらに明確にしている。研究推進の体制としては、研究者とステークホルダーの協働が重視されている。日本はFuture Earthの初期設計に直接かかわることができなかったが、今後は積極的にかかわっていくことが求められている。そしてアジア地域の課題解決型研究のために、アジアの国々による国際共同研究推進体制を整備することに、日本は今まで以上に積極的に取り組んでいくことが望まれている。

本文は p.25 へ

## 健康長寿社会の実現に向けた喫煙リスク研究の動向

2013年6月に閣議決定された『科学技術イノベーション総合戦略』（総合戦略）の課題のひとつとして「健康長寿社会の実現」が挙げられている。その重点的取り組みである「健康づくりのエビデンス創出」は、課題の特定と規模の把握に不可欠な役割を果たす。エビデンス創出に関連した最近の世界の研究動向から、特に喫煙は、従来の認識を改めるほどに疾患リスクを高め、健康余命を短縮することが明らかとなってきた。たばこ問題は、経済的にも大きな損失を生み出しており、総合戦略の基本的考え方である「課題解決型の政策体系（プログラム）に組み上げる」ことが必要と言える。

より効果的な政策を形成する観点から、重点的に対策をとるべき高リスク群を同定する研究への取り組みは重要である。喫煙のリスクとさまざまな要因（社会経済的状態、健康状態、遺伝子、摂取物質等）との関連を解明することにより、政策的に重点を置くべき対象者の選択や介入手段の選択・開発につなげることができる。こういった研究の多くは、総合的な疫学研究の中に位置づけることができ、他要因の課題解決との相乗効果も期待できる。

本文は p.33 へ

## 各国の地球観測動向シリーズ（第3回） 中国の地球観測活動の方向性 —欧州から学び地球観測応用範囲を拡大—

中国では、大気汚染・水不足・都市化の進行・地盤沈下などの環境問題が深刻な事態になっており、総合国力充実のためにこれらの課題解決に役立つ地球観測活動に力を入れている。中国は、2011年版宇宙白書「中国的航天」の計画に沿って地球観測衛星の打上げや受信局の新設など宇宙インフラの整備を着実に進めている。また、欧州と共同で10年以上にわたって実施している龍計画により、政府関係の研究機関や大学が国土と環境・再生可能資源・海洋・災害・大気など幅広い分野で地球観測データを利用した研究を行っている。

# 巨大地震に備えた 消防防災研究の方向性(その1) —東日本大震災の火災被害を踏まえて—

松原 美之 浦島 邦子

## 概 要

2011年3月11日に発生した東日本大震災は未曾有の被害をもたらした。震災直後に総務省消防庁長官は、阪神淡路大震災での広域応援の必要性の認識を踏まえて整備された緊急消防援助隊の出動指示を初めて20都道府県に対して行った。緊急消防援助隊の延べ派遣数は、6月6日までの88日間で、44都道府県の712消防本部から3万人を超え、全国の消防職員の約5分の1が、岩手県、宮城県、福島県、茨城県、千葉県、新潟県等の全部で8県において応援活動を実施した。消防庁では、消防研究センターにより火災等の被害の現地調査を行った。火災等の調査では、ヒアリング調査、空撮映像分析、危険物施設の津波による被害等を整理した。これらの調査結果から、安全な社会の構築に向けて、意思決定に有用な情報技術の開発、延焼要因の解明と防火対策、消防・救助活動のための技術開発、津波対策に関する研究開発、防災に関する技術開発などといった推進が不可欠であることが示された。

**キーワード：**防災，消防，東日本大震災，地震，火災，津波

## 1 はじめに

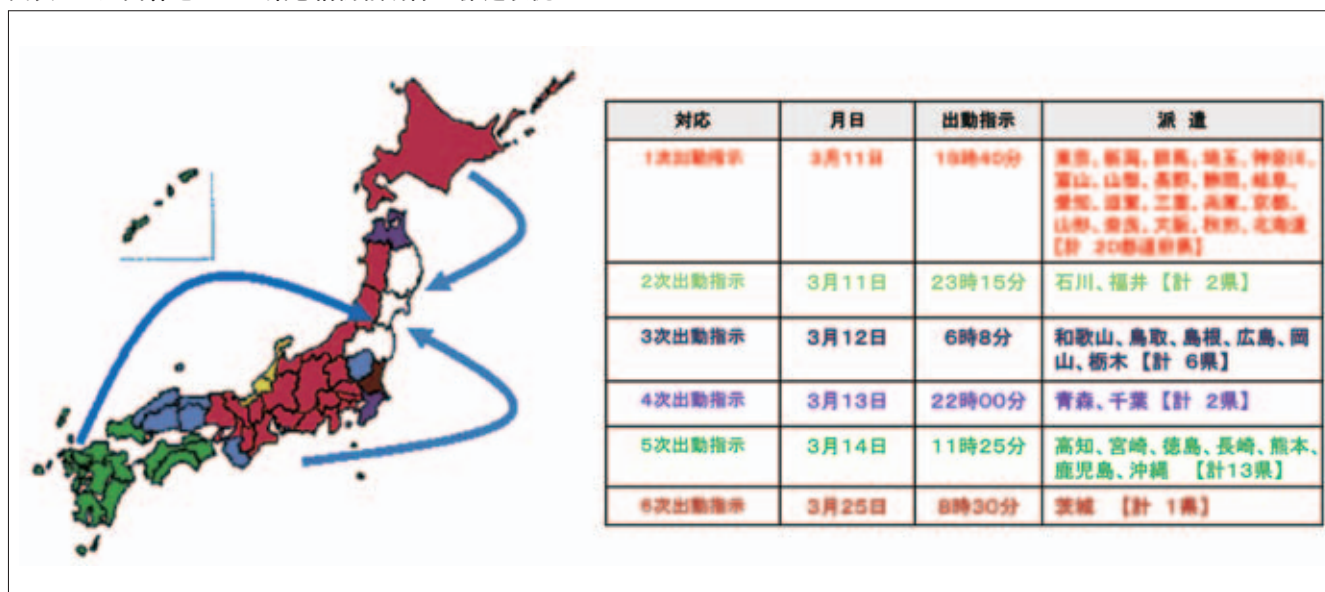
2011年3月11日に発生した「平成23年(2011年)東北地方太平洋沖地震」は、我が国観測史上最大のマグニチュード9.0となり、東日本大震災と命名される未曾有の被害をもたらした<sup>1~5)</sup>。震度6弱以上を観測した地域が8県にまたがり、うち数県では通信網に支障をきたし、さらに広い範囲で津波警報が発表されていたことから、総務省消防庁長官は3月11日15時40分、20都道府県に対して緊急消防援助隊の出動指示を行った。緊急消防援助隊は、阪神淡路大震災での広域応援の必要性の認識を踏まえて整備された制度で、新潟県中越地震をはじめ多くの大規模災害時には活用されてきているが、消防庁長官の出動指示権(消防組織法第44条第5項)が行使されたのは、2008年の制度発足以来、初めてのことである。今回の震災は、それほど被害の甚大さが当初から予測されたということである。緊急消防援助隊の1日の最大派遣数は

1,912隊7,035人にのぼり(3月18日)、最終的には6月6日までの88日間、44都道府県の712消防本部から延べ3万人を超える消防職員(全国の消防職員の約5分の1)が、岩手県、宮城県、福島県、茨城県、千葉県、新潟県等の8県において緊急消防援助隊による応援活動を実施した<sup>6)</sup>。これらの概要を図表1に示す。

本災害の経験を通じて、防災に関する多くの課題が見出された。本号から数回にわたり、今回の震災が提起した防災の科学技術のうち、特に消防に関連した課題を整理・概観し、改訂された消防防災科学技術に関する戦略プランについて概説する。さらに、近い将来発生が危惧されている巨大地震などに備えるための消防防災研究のあり方について提言する。



図表1 全国各地からの緊急消防援助隊の派遣状況



出典：参考文献 6 を基に科学技術動向研究センターにて作成

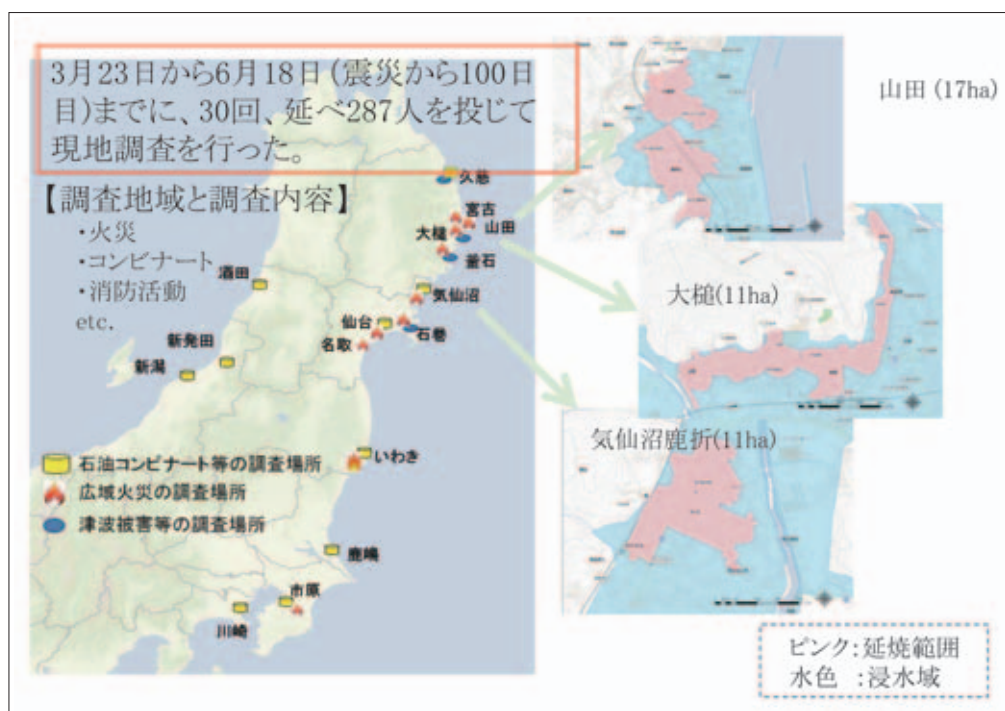
## 2 消防の視点からみた 東日本大震災の現状

## 2-1 火災被害の現地調査

消防庁消防研究センターは、応急対応が一区切りした3月23日から「火災被害」、「コンビナート

被害」、「その他および消防活動」の現地調査を開始した。6月18日（震災から100日目）までの間だけでも、30回、延べ287人を投じて現地調査を行った。調査は、日本火災学会、東京大学、東京理科大学、危険物保安技術協会等、関連する各機関団体と協力して実施された。図表2は消防研究センター等が現地調査を行った地域の概要である。調査結果は、ウェブサイトで公開されている<sup>1)、6~10)</sup>。

図表2 消防研究センターが現地調査を行った地域



出典：参考文献 8 を基に科学技術動向研究センターにて作成

## 2-2 火災被害の面積

大規模な延焼火災が発生した殆どの地域について、延焼範囲の記録、出火・延焼・消防活動に関するヒアリング調査を実施した。図表3は阪神淡路大震災と比較した延焼状況を示しているが、阪神淡路大震災時の最大延焼面積を記録した水笠西公園周辺の2倍に近い面積の延焼火災が山田町では発生

していたこと等、大規模な延焼火災が多く地域で発生していたことがわかる。それぞれの延焼火災地域について、延焼境界線をGPSにて計測し記録していった。

図表4は、山田町の延焼火災の全体写真と延焼範囲を例示している。このように、後世の分析に資することを旨として、全調査地域についての記録が残され、消防研究センターのウェブサイトで公開されている。

図表3 火災延焼範囲の面積（阪神淡路大震災との比較）

東日本大震災		阪神淡路大震災	
地区名	面積(m <sup>2</sup> )	地区名	面積(m <sup>2</sup> )
野田村	500	須磨区 太田中学校北	4,000
大槌町 大槌小付近	116,000	須磨区 太田中学校南	7,000
大槌町 赤浜地区	14,000	須磨区 大田四丁目	1,000
宮古市 田老地区	40,000	須磨区 横綱ビル	2,000
山田町 陸中山田駅・役場前	170,000	須磨区 千歳小公園周辺	14,000
気仙沼市 鹿折地区	110,000	長田区 高橋病院周辺	62,000
気仙沼市 二ノ浜地区	27,000	須磨区・長田区 西代市場周辺	34,000
気仙沼市 内の脇地区	38,000	須磨区・長田区 水笠西公園周辺	97,000
石巻市 門脇小付近	58,000	長田区 日吉町二丁目	3,000
石巻市 門脇三丁目冷蔵工場等	2,000	長田区 新長田駅南	35,000
石巻市 門脇三丁目12アパート	300	長田区 神戸デパート南	36,000
石巻市 門脇三丁目鉄工所	400	長田区 細田町四丁目	4,000
石巻市 蛇田地区	500	長田区 御船通二・三・四丁目	15,000
仙台市 宮城野区 川沿いの工場	8,800	長田区 川西通一丁目	3,000
仙台市 宮城野区 住宅	2,100	長田区 御蔵通五・六丁目	20,000
仙台市 宮城野区 アパート・工場	1,800	長田区 菅原市場周辺	45,000
仙台市 宮城野区 倉庫	2,400	長田区 東尻池七丁目	3,000
仙台市 宮城野区 駐車場での車両火災	2,200	兵庫区 会下山南	52,000
仙台市 宮城野区 倉庫火災	4,100	兵庫区 中道通六丁目	4,000
名取市 関上地区ホーム前	12,500	東灘区 魚崎北五・六丁目	10,000
名取市 関上地区平田橋	42,000	東灘区 青木駅南	6,000
いわき市 久之浜地区	18,400		
計	671,000	計	457,000

参考文献9を基に科学技術動向研究センターにて作成

図表4 山田町の延焼火災範囲



出典：参考文献8を基に科学技術動向研究センターにて作成



図表 5 は、石巻市門脇地区の火災について、延焼範囲と津波遡上範囲を重ねて地図上に描いた結果であるが、水陸の境界線周辺で拡大している様子が読み取れる。津波により家屋が破壊され発生した火災が、初期消火活動が困難な中で拡大したと推測できる。

## 2-3 火災被害の実情と原因

出火原因の全体像を把握することは未だ困難であるが、現地での目撃者から聞き取った情報が図表 6 のようにまとめられている。津波により海水をかぶった自動車や電力関係機器からの出火が、今回の震災で特徴的な出火原因像として浮び上がってくる。阪神淡路大震災時には、再通電火災が多数発生したが、今回は地震直後から多くの報道機関が再通電火災の危険性について注意を呼び掛けており、その結果、大きな被害にならなかったと予想される。

東日本大震災が起こった翌朝の新聞各紙は、「津波にのまれ町炎上。港の重油タンク火災、気仙沼住宅に延焼」と報じた。気仙沼市の大規模火災については、「石油タンクが津波で破壊され、その結果、市街地が火の海になったのだとしたら、対策を早期に検討すべき」との視点から、特に調査を急ぐ必要があり、早期から多くの人員が調査に投

図表 5 火災範囲と津波遡上範囲（石巻市門脇地区）  
薄赤網掛：延焼範囲、水色網掛：津波遡上範囲



出典：参考文献 8 を基に科学技術動向研究センターにて作成

入された。詳細は報告書<sup>6)</sup>によるとして、調査の結論を要約すると、「火災は海上を浮遊する固形物の燃焼であった」、「市街地で漏えい石油が燃焼した痕跡は確認できなかった」ということである。この結果は図表 7 に示すように、昼間に撮影された多くの空撮映像と火災現場の映像を重ね合わせ、位置特定を行った結果得られたものである。燃えている場所は、市街地ではなく、ほとんどが気仙沼湾内の海上であった。つまり炎上していたのは津波によって流された瓦礫であったことが判明した。

## 2-4 地震の経過時間と鎮火件数の関係

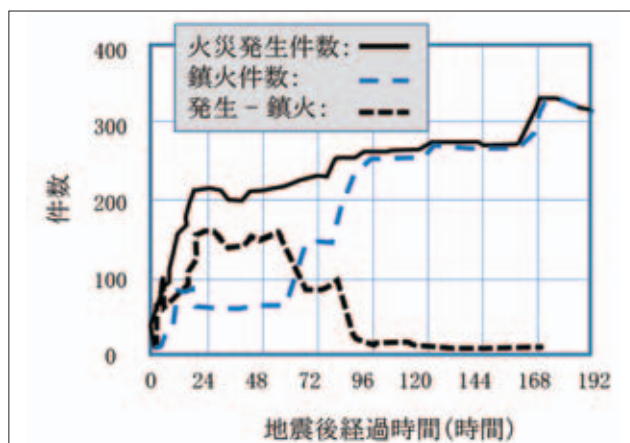
図表 7 は地震後の経過時間と鎮火火災の件数の関係を示している。地震発生後 50 時間までの間、鎮火される火災件数が発生する火災件数に対して低い比率の時間が継続した。これは、津波浸水地域での消防活動の困難性、援助部隊が未着などのために、地域の消防力により対応せざるを得ないこの期間を如何に短縮するか、また、限られた消防力で如何に有効に火災に対応するか、さらに分析と検討が求められる。

図表 6 出火原因に関する現地で聞き取り調査結果

- (a) 津波で流されたガレキからの出火や燃えながら流されるガレキがあった。(山田町、石巻市、名取市)
- (b) 津波で流された自動車や一度海水をかぶった自動車からの出火があった。(山田町、気仙沼市、石巻市)
- (c) 一度海水をかぶった積算電力計等の電力関係機器が、電力が復旧したときに出火した。(気仙沼市、石巻市)
- (d) 津波に流された船からの出火があった。(大槌町、気仙沼市)
- (e) 現場調査において、出火場所付近のガレキの中に、焼損した給湯器、製品の一部と思われる灯油タンク、ストーブなどが見つけれられたが、出火原因かどうかの確認は得られなかった。

出典：参考文献 9 を基に科学技術動向研究センターにて作成

図表 7 火災件数の地震後経過時間と火災件数



出典：参考文献 10 を基に科学技術動向研究センターにて作成

### 3 危険物施設等の被害について

千葉県市原市のコンビナートにある高圧ガスタンクの爆発炎上、仙台地区のコンビナートでの危険物施設火災などから、今回の震災で多大な危険物施設の被害が発生したのではないかという印象が強い。しかし、今回の東日本大震災時に危険物施設で発生した火災・流出事故の概要について消防庁が取りまとめたもの（図表8）に示すごとく、平常時であ

れば決して少ない数字ではないが、あの甚大な震災の被害の全体の中では決して大きな被害とは言えない。

図表9は東日本大震災における危険物施設の被害の地域ごとの特徴について整理したものである。日本海側、東京湾周辺で地震動による浮き屋根への被害が発生しているが、いずれも現行基準への改修の猶予期間中の施設であることが確認されており、現在の石油タンク基準を満たす石油タンクでは地震動による大きな被害は発生していない。

図表8 東日本大震災時に危険物施設で発生した、火災、流出事故概要

	地震による被害	津波による被害
火災	<b>5件(全て一般取扱所)</b> ≪危険物に起因した火災は次の2件≫ ・地震により破損した配管から流出した重油に引火し火災が発生 ・焼き入れ作業中に地震が発生し、焼入れ油に着火し、火災が発生	<b>36件(屋外タンク1、一般取扱所7、移動タンク28)</b> 全て宮城県内の製油所で発生した火災によるもの
流出	<b>79件</b> 屋外タンク貯蔵所:27件(34%) ⇒浮き屋根・配管等の破損による流出 屋内貯蔵所:18件(23%) ⇒危険物容器の落下による流出 地下タンク貯蔵所:14件(18%) ⇒危険物配管の破損による流出 一般取扱所:13件(16%) ⇒危険物配管の破損による流出 給油取扱所:4件(5%) ⇒危険物配管の破損による流出 移送取扱所:3件(4%) ⇒危険物配管の破損による流出	<b>106件</b> 屋内貯蔵所:1件(1%) ⇒危険物容器が建物と共に流出 屋外タンク貯蔵所:92件(87%) ⇒タンク本体や配管等が破損し、流出 屋内タンク貯蔵所:2件(2%) ⇒タンク本体や配管等が破損し、流出 地下タンク貯蔵所:2件(2%) ⇒ポンプ設備などが破損し、流出 屋外貯蔵所:2件(2%) ⇒ドラム缶などが流出 一般取扱所:4件(4%) ⇒配管やポンプ設備などの破損により流出 給油取扱所:1件(1%) ⇒配管などの破損により流出 移送取扱所:2件(2%) ⇒配管接合部からの少量流出
破損	<b>1,235件</b> 破損の被害は建築物や配管に多く発生	<b>1,347件</b> 施設全体に津波の被害が及んでいる

出典：参考文献9を基に科学技術動向研究センターにて作成

図表9 東日本大震災時の危険物施設被害の地域ごとの特徴

#### 被害の特徴

##### (1)太平洋側

- ・タンク・配管の浮上、移動、地盤・基礎の洗掘(タンク底板の破断)など、津波による被害が多く見られる。
- ・やや長周期地震動(周期2秒から20秒程度の地震動)によるスロッシング(液面揺動)は小さく、浮き屋根の顕著な被害は見られない。
- ・短周期地震動による側板座屈、浮き上がりなどの被害は見られない。
- ・地盤の液状化が発生している。

##### (2)日本海側

- ・スロッシングによる浮き屋根のポンツーン(浮き室)破損、デッキ上への溢流被害が発生している。

##### (3)東京湾岸

- ・スロッシングによる浮き屋根沈没、デッキの割れなどやや長周期地震動による被害が多く発生している。
- ・液状化が発生しているところもあるが、液状化対策のなされた地盤では認められていないようである。

#### ○調査の視点

1. タンク側板、床板、浮き屋根が受けた被害状況は消防法令の技術上の基準を見直す必要のあるものであるか
2. 仙台地区の火災の原因
3. 千葉県市原市のコンビナート火災の出火原因
4. 巨大な津波が来襲した地区における危険物施設の被害の状況はどうであるか

出典：参考文献8を基に科学技術動向研究センターにて作成



## 4 危険物施設の津波による被害

図表 10 は、今回の震災時に危険物施設が被った津波による被害を、津波の浸水深さとタンク許容量をもとに整理したものである。津波の浸水深が3 mより小さな場合には、タンク本体、配管ともに被害はないが、浸水深が増すに伴って配管が被害を受け始め、そして小さな容量のタンクから本体被害が及んでいる。その結果、大量の石油流出が、津波による配管の破損から引き起こされた教訓を踏まえ、津波浸水が危惧される地域に設置される大容量の石油タンクへの緊急遮断弁の設置などの対策が講じられることとなった。

## 5 まとめと提言 一東日本大震災が提起した課題

東日本大震災では死者の9割以上が水死（火災による死者は全体の1%程度）であるなどの特徴があり<sup>5)</sup> 津波による被害が大きかったことを示している。

東日本大震災は、甚大な被害を被った地域が著し

く広域であったことから、被災した地域の消防力だけで対応することは不可能であり、緊急消防援助隊の制度発足以来初めてとなる、消防庁長官の指示による派遣がなされた。しかし、支援の消防力を遠方から、速やかに、かつ、長期間にわたって派遣することを如何にして可能とするかの課題が審議会などの検討を経て明らかとなった。消防防災の科学技術においては、こうした課題を解決するために、次のような消防防災分野における科学技術上の重要課題が改めて浮き彫りとなった。

### 〔1〕意思決定に有用な情報技術の開発

極めて広域な地域が被災地となるような災害が発生した場合における早期かつ的確な被害推定および被害情報収集並びに応急対応に関する意思決定支援のための情報技術が必要である。

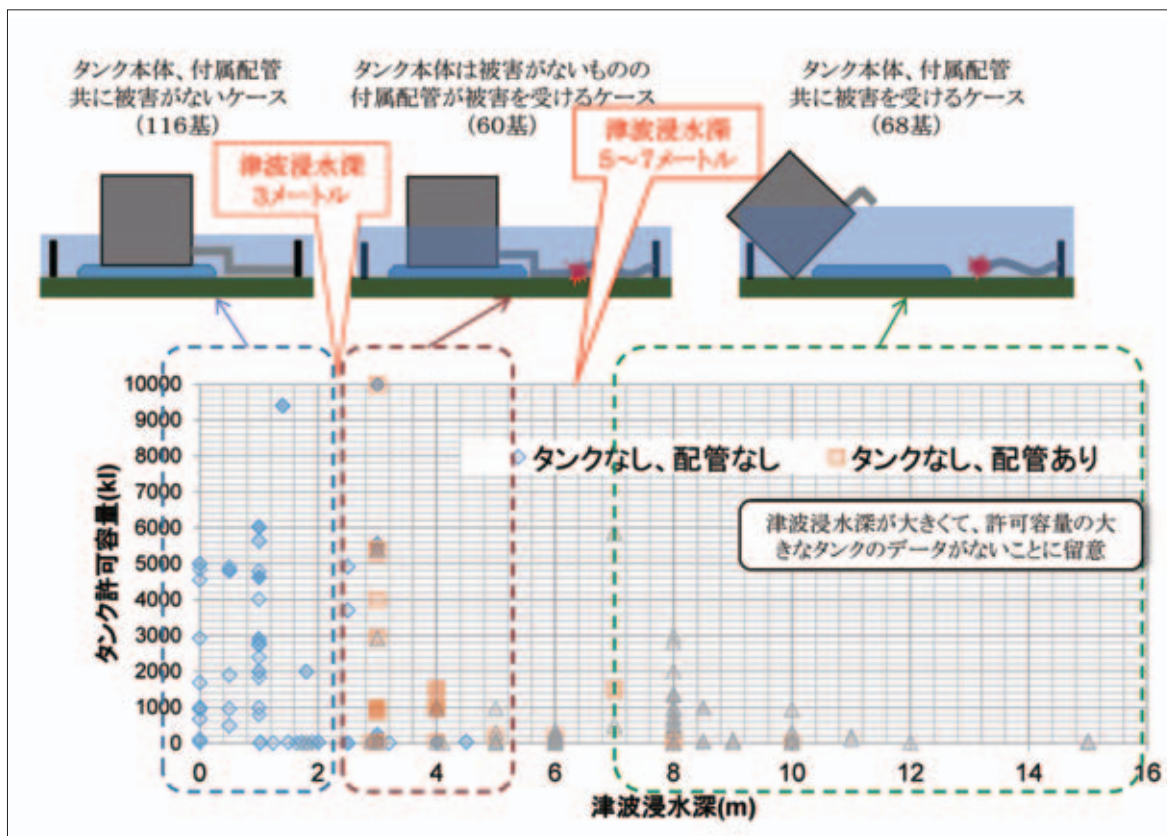
### 〔2〕延焼要因の解明と防火対策

津波浸水域で発生した大規模市街地火災の発生原因・延焼要因の究明と防火対策に関する知見を深めるための施策が必要である。

### 〔3〕消防・救助活動のための技術開発

水やがれきが滞留している津波浸水域における消防活動・救助活動を可能とする技術開発を推進すべきである。

図表 10 浸水深、規模と屋外タンクの被害形態



出典：参考文献9を基に科学技術動向研究センターにて作成

#### 〔4〕津波対策に関する研究開発

石油コンビナートにおける地震・津波対策、特に津波対策に関する知見に関する研究開発が今まで以上に重要である。

#### 〔5〕防災に関する技術開発

震災後発生するがれきなど堆積物の火災予防対策に関する知見と消火技術の開発と研究が必要である。

東日本大震災における被害や活動等を踏まえ、

ハードとソフトの両面から更なる防災への取り組みが必要である。特に今後、確実に我が国が迎える高齢化社会への対応や、老朽インフラの再構築なども、防災を念頭において、計画、実施されるべきである。そして、万が一起きてしまった災害被害をできる限り最小に食い止めるための科学技術をこれまで以上に推進する必要がある。我が国はこうした取り組みを通じて、世界でトップクラスの防災技術を目指すことが国際貢献につながり、さらには科学技術イノベーションに寄与できるであろう。

## 参考文献

- 1) 消防庁：東日本大震災記録集  
[http://www.fdma.go.jp/concern/publication/higashinihondaishinsai\\_kirokushu/](http://www.fdma.go.jp/concern/publication/higashinihondaishinsai_kirokushu/)
- 2) 防災科学技術研究所：平成 23 年（2011 年）東北地方太平洋沖地震（東日本大震災）について  
[http://www.kyoshin.bosai.go.jp/kyoshin/topics/TohokuTaiheiyo\\_20110311/nied\\_kyoshin1j.pdf](http://www.kyoshin.bosai.go.jp/kyoshin/topics/TohokuTaiheiyo_20110311/nied_kyoshin1j.pdf)
- 3) 国土交通省：東北地方太平洋沖地震による土砂災害発生状況  
<http://www.mlit.go.jp/river/sabo>
- 4) 首相官邸：平成 23 年（2011 年）東北地方太平洋沖地震（東日本大震災）について  
<http://www.kantei.go.jp/saigai/pdf/201305281700jisin.pdf#search='%E5%AE%98%E9%82%B8+%E6%9D%B1%E5%8C%97%E5%9C%B0%E6%96%B9%E5%A4%AA%E5%B9%B3%E6%B4%8B%E6%B2%96'>
- 5) 警察庁：東北地方太平洋沖地震による死者の死因等について【3/11～4/11】、平成 23 年 4 月 19 日
- 6) 消防庁：平成 23 年版消防白書  
<http://www.fdma.go.jp/html/hakusho/h23/h23/index.html>
- 7) 消防庁：平成 24 年版消防白書  
<http://www.fdma.go.jp/html/hakusho/h24/h24/index.html>
- 8) 消防研究技術資料第 82 号 平成 23 年（2011 年）東北地方太平洋沖地震の被害及び消防活動に関する調査報告書（第 1 報）  
[http://nrifd.fdma.go.jp/publication/gijutsushiryo/gijutsushiryo\\_81\\_120/files/shiryo\\_no82.pdf](http://nrifd.fdma.go.jp/publication/gijutsushiryo/gijutsushiryo_81_120/files/shiryo_no82.pdf)
- 9) 第 15 回消防防災研究講演会資料（平成 24 年 1 月）  
[http://nrifd.fdma.go.jp/publication/gijutsushiryo/gijutsushiryo\\_81\\_120/files/shiryo\\_no82.pdf](http://nrifd.fdma.go.jp/publication/gijutsushiryo/gijutsushiryo_81_120/files/shiryo_no82.pdf)
- 10) 第 16 回消防防災研究講演会資料（平成 25 年 2 月）  
[http://nrifd.fdma.go.jp/publication/gijutsushiryo/gijutsushiryo\\_81\\_120/files/shiryo\\_no82.pdf](http://nrifd.fdma.go.jp/publication/gijutsushiryo/gijutsushiryo_81_120/files/shiryo_no82.pdf)

消防防災に関する科学技術動向 —消防防災領域でのイノベーションを目指して—

松原美之、浦島邦子

[http://www.nistep.go.jp/achiev/ftx/jpn/stfc/stt078j/0709\\_03\\_featurearticles/0709fa03/200709\\_fa03.html](http://www.nistep.go.jp/achiev/ftx/jpn/stfc/stt078j/0709_03_featurearticles/0709fa03/200709_fa03.html)

消防防災に関する科学技術動向 —安心・安全を目指す科学技術の特性と方向性の考察—

松原美之、浦島邦子

[http://www.nistep.go.jp/achiev/ftx/jpn/stfc/stt048j/0503\\_03\\_feature\\_articles/200503\\_fa02/200503\\_fa02.html](http://www.nistep.go.jp/achiev/ftx/jpn/stfc/stt048j/0503_03_feature_articles/200503_fa02/200503_fa02.html)

..... 執筆者プロフィール .....



**松原 美之**

科学技術動向研究センター 客員研究官

湯川秀樹を目指して京都大学理学部に進学するも、心変わりし、消防庁に就職して消防防災のための研究に従事することとなる。「石油類の着火原因としての静電気に関する研究」で、東京大学より工学博士を取得。典型的「理系人間」であるが、勤務する研究機関の独法化などの組織機構の変革の実務を経験し、理系と文系の「バイリンガル」を目指すことに。



**浦島 邦子**

科学技術動向研究センター 上席研究官

工学博士。日本の電機メーカー、カナダ、アメリカ、フランスの大学、国立研究所、企業にてプラズマ技術を用いた環境汚染物質の処理ならびに除去技術の開発に従事後、2003 年より現職。世界の環境とエネルギー全般に関する科学技術動向について主に調査中。



# 将来社会のために先行的に 取り組むべき研究領域の導出 —ドイツにおける試み—

横尾 淑子

## 概 要

科学技術イノベーション政策の検討に当たっては、将来社会の課題解決のため先行して取り組むべき研究領域や制度整備を明確化することが求められている。そのため、社会変化の方向性を捉え、研究開発やイノベーションの芽を見出すための取り組みが各国で行われている。

ドイツでは、2007年から「フォーサイトプロセス」を実施している。このプロジェクトは、技術指向と需要指向という対極にあるプロジェクトの実施を経て設計され、新しい学際領域や将来の社会変化に対応する研究領域に着目して分析が進められている。学際研究トピックの抽出とグルーピング、トレンドを先取りしているリードユーザーの活用による潜在ニーズの抽出など、科学技術と社会の潜在可能性を捉えるための多様な手法が用いられている。また、政策検討に繋げるため、導出された新学際領域について発展的な議論を行う期間が設けられていることが、従来とは異なる新たな取り組みである。

**キーワード：**フォーサイト、学際、ニーズ、ドイツ

## 1 はじめに

科学技術イノベーション政策の検討に当たっては、将来社会における課題を解決するために先行して支援すべき研究領域や整備すべき制度を明確化することが求められている。将来の不確実性が増大し、既存分野内に収まりきれない議論が増加する中であって、多種多様な情報の中から起こり得る社会変化の兆しや方向性を捉え、研究開発やイノベーションの芽を見出すこと、すなわち、「将来社会の需要、潜在的な課題やニーズを想定すること」、「将来社会からの要求に応え得る研究領域を見出すこと」は、フォーサイト活動のテーマの一つとなっている。例えばEUでは、第7次研究枠組み計画（FP7）中のフォーサイト活動の一つである「Blue Sky Research on Emerging Issues Affecting European Science and Technology」下で、起こりつつある事象を観測して示唆を得るホライズンキャンニング（iKnow）、市民などの参加によるビジョ

ン検討（CIVISTI）などの6プロジェクトが実施された<sup>1, 2)</sup>。

一方、国レベルでも同様に変化の兆しを捉えるためのプロジェクトが実施されている。ドイツでは、連邦教育研究省（BMBF）のプロジェクトとして、2007年に「フォーサイトプロセス」<sup>3)</sup>が開始された。このプロジェクトは、先行的に取り組むべき領域を明らかにするため、将来のための新しい学際領域、並びに、将来の社会変化に対応する研究領域に着目して進められている。

本プロジェクトは、1990年代に技術指向のデルファイ調査、2000年代前半に市民を含む広範な関係者の議論を基にリードビジョンの導出を行った需要指向のプロジェクト「Futur」<sup>4)</sup>などの実施を経て設計された。本稿では、こうした技術指向と需要指向という対極にあるプロジェクトの経験を持つドイツにおける取り組みの概要を紹介する。

## 2 フォーサイトプロセスの概要

本プロジェクトは、①研究開発の新しいテーマの特定、②分野横断的領域の明確化、③戦略的協調が必要な領域の探索、④研究開発政策のための優先順位付け、を目的としている。

工程は、科学技術の進展を出発点として検討を行う第1サイクル（2007-2009年）と需要見通しに焦点を当てる第2サイクル（2012-2014年）から構成されている（図表1）。第1サイクルの結果は、政策検討のために広く供されるとともに、科学技術情報として第2サイクルで活用される。

第1サイクル終了後の2年間は政策展開のための期間とされ、この間に、第1サイクルにおいて導出された新しい学際領域についての発展的な議論が行われた。導出領域の一つである「人間と技術の協調」分野に関しては、連邦教育研究省内に「人口構造変化：人間と技術のインタラクション」部署が設置された。また、「プロダクション・コンサ

ンプション 2.0」分野に関しては、関係する他省を含めた議論が行われ、間接的な寄与に留まるものの、国全体の指針である「ハイテク戦略 2020」<sup>5)</sup> で挙げられた将来プロジェクトのうちの一つである「インダストリー 4.0」の議論に繋がった。

### 2-1 第1サイクル：技術指向のアプローチ

第1サイクル<sup>7, 8)</sup> は、科学技術の進展を出発点とした技術指向のアプローチによって、優先度の高い新研究領域を導出することを目的として実施された。ここでは、技術側からのアプローチによりトピック出しを行い、それらを社会への将来インパクト評価等の情報を基に分野に構成する方法が採られた。

具体的には、まず「ハイテク戦略」<sup>6)</sup> や連邦教育研究省のポートフォリオ等を参考に 14 分野を設定し、ワークショップにおいて研究トピックの検討を行った。異なる分野が交わるところで起こり得る長期的研究課題の議論により、学際的な研究トピック

図表1 フォーサイトプロセスの工程

工程	期間	担当機関	内容
第1サイクル	2007～2009	フラウンホーファー応用研究促進協会システム・イノベーション研究所 (FhG-ISI)、同協会労働経済・組織研究所 (FhG-IAO)	科学技術の進展を出発点とした検討(技術指向)を行い、優先的に取り組むべき新しい学際領域を導出した。
第2サイクル	2012～2014	フラウンホーファー応用研究促進協会システム・イノベーション研究所 (FhG-ISI)、オーストリア技術研究所 (AIT)	将来需要に焦点を当てた検討(需要指向)を行い、将来トレンドを予測した。今後、社会的課題と科学技術の関連付けを行う。

出典：参考文献 3 を基に科学技術動向研究センターにて作成

図表2 新未来分野

分野	概要	研究領域
人間と技術の協調	人間と技術との複雑な相互作用を展望する。	人間性の再定義、機械のエージェント機能(自律、知性、機械間インタラクション)、人間と技術のチーム(より良い関係)、人間と技術の文化
加齢研究	多要因からなる生涯プロセスとして、若年も含め、老年までの過程を対象とし、生物学的変化、脳神経系の変化、認知、感情、精神活動等を研究する。	老年生物学、機能維持と疾病予防、脳の発達とその可塑性、年齢相応の学習、生涯の各段階に適した製品とサービス、加齢プロセスの測定
持続可能な生活空間	人口推移や気候変動などに対応した生活空間の設計。	柔軟な供給・廃棄システム(インフラ)、ダイナミックな居住概念(気候変動への対応、モジュール化、持続可能でリサイクル可能な素材)、ガバナンス(管理・運営形態)
プロダクション・コンサンプション 2.0	持続可能な生産と消費のパラダイムの確立。持続可能なマテリアルフローパタンの変革。	マテリアル循環の持続可能な形態、新しいシステム、パラダイム変換
学際モデルとマルチスケールシミュレーション	複雑なシステムとその挙動に対する横断的アプローチとしての統合的シミュレーションの発展。	バーチャルラボラトリ、社会—生物—認知—情報—技術のシステム連結、人体の総合モデル化、学際モデル
時間研究	「時間」を理解し、管理する(時間に依存する技術、クリティカルな時間軸を持つプロセス)。	超精密時間管理、4D イメージング、時間生物学、プロセスの効率性(同期、並列化)
持続可能なエネルギー問題解決	エネルギー調和(持続可能なエネルギーのための多様な研究の調整)、環境からのマイクロエネルギー利用(エネルギーハーベスティング)	

出典：参考文献 9 を基に科学技術動向研究センターにて作成

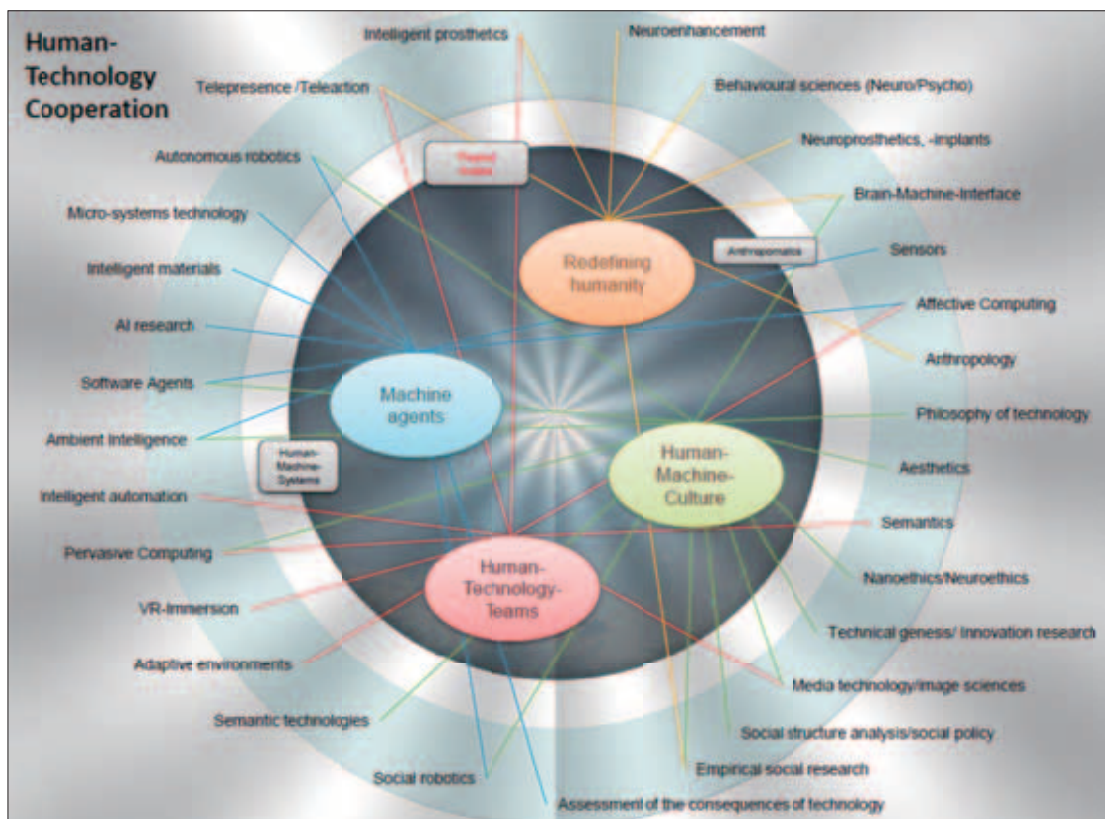
も抽出した。文献調査、専門家パネル、インタビュー、アンケート等の既存手法にインベンタースカウト（若手発明者の特定とインタビュー）の試みを加え、研究トピックの現状把握、将来展望、インパクト評価等を行った上で、グルーピングが検討された。

最終的に、連邦教育研究省がまだ本格的に支援に

取り組んでいない7つの「新未来分野」が新学際領域として設定された。報告書には、各分野の概要、現状、長期展望、意味合い、具体的なアクター、アクター間の協調が記述されている<sup>9)</sup>。設定された分野を図表2に、結果例を図表3に示す。

図表3 新未来分野

a) 関連する研究領域（「人間と技術の協調」分野の例）



注：円の外側には現時点の関連領域（人文・社会科学含む）、内側には今回設定された研究領域が配置され、関連を実線で示している。

出典：参考文献9

b) 研究領域と応用可能性（「時間研究」分野の例）

研究領域	応用可能性
超精密・超短時間管理、4Dイメージング	<ul style="list-style-type: none"> <li>・4Dイメージング／短期観測（例：生物医学検査用コンパクトX線レーザ、人体プロセス）</li> <li>・アト（秒）エレクトロニクスー原子時スケールでのプロセス制御</li> <li>・分子内エネルギー輸送（例：高エネルギー効率エレクトロニクス、分子コンピュータ）</li> <li>・GPS 応用（例：精密農業、機械の遠隔メンテナンス）</li> <li>・メディアと無線通信の同期の最適化</li> </ul>
時間生物学・体内時計	<ul style="list-style-type: none"> <li>・人の体内時計の理解：疾病予防、標的治療（時間薬理学）</li> <li>・交代勤務におけるエネルギー消費と肥満の関係、ホルモンの影響、メラトニンの効果</li> <li>・社会的要因の生体リズムへの影響</li> <li>・最適な学習時間帯での集中学習</li> <li>・従来のスケールを超えた時間スケール</li> <li>・少子高齢化社会における新しい時間構造</li> <li>・新しい光源</li> </ul>
並列化・同期化（効率化プロセス）	<ul style="list-style-type: none"> <li>・単に速いだけでない、より高効率のプロセス</li> <li>・インターネットサーバの同期：スピードと省エネルギー</li> <li>・生産プロセスの同期</li> <li>・イノベーションプロセスの構造化・並列化・始動</li> </ul>

出典：参考文献9を基に科学技術動向研究センターにて和訳



## 2-2 第2サイクル： 需要側からの検討

2030年までの社会的課題（ソーシャルチャレンジ）に対する研究開発およびイノベーションの貢献を明らかにすることを目的として、現在、第2サイクルが実施されている<sup>10)</sup>。まず、2012年5月～2013年6月の期間、様々な社会トレンドを基に社会的課題を導出する試みが実施された。ついで、2013年1月～11月において、第1サイクルの結果や人文・社会科学の観点からの検討を加えて、研究開発の展開を概観する。そして、2013年7月から2014年4月において、それらの結果をもとに研究開発と社会発展との関連を検討する。

図表4に示すように、社会的課題の特定に当たっては、オーブントレンド、規範トレンド、隠れたトレンドの3つに分けて、社会トレンドの検討が行われた。隠れたトレンドとは、現在というフィルター（限られた情報源、現パラダイムに基づく認識構造、組織慣行）を通るがために認識されないトレンドを指す。

隠れたトレンドの発見のため、11のニーズ領域（移動、食、健康、等）を設定し、需要のパイオニアやリードユーザー、またこれら先駆者との接触により変化をいち早く感じている人へのインタビューや博士課程学生のワークショップを実施し、将来を展望した。そこでは、個々人の創造力と集合知の活用、多様な視点（相対するトレンド、ネガティブな方向性）の提供、多様なバックグラウンドを持つ者の参加など、固定観念や先入観などからの見落としを減らす工夫がなされた。

現在、約200の社会トレンドの中から選定され

た62のトレンドが構造化され、連邦教育研究省内や国内外ボードメンバーからのフィードバックを受けたところである。

## 3 フォーサイトプロセスの特徴

本プロジェクトは、新学際領域および将来社会トレンドに対応する研究領域の把握のため、多様な手法を併用して検討を重ねたことに特徴があるが、その他の注目すべき点として、以下を挙げることができる。

### 3-1 現時点の枠組みを超える仕組み

○既存の分野概念や一般的な認識の外にある事項に光を当てる

現在の分野構成の中に収まりきらない事項、また、一般に認識される段階に至っていない事象の検討を行うため、いくつかの工夫がなされている。

既存の分野概念からの解放と新しい分野概念の導出のためには、既存分野 × 既存分野のマトリクスを用いた学際的研究トピックの検討、続いて、研究トピックのグルーピング検討を繰り返すことによる新学際領域の導出が行われた。また、一般的な認識の外にある事象を見出すためには、ユーザーイノベーションをもたらす「リードユーザー」を取り込んでいる。ニーズを先取りしており、将

図表4 社会トレンドの分類

種類	概要
オーブントレンド	既存情報から得られるトレンド。 ーフォーサイトやトレンドレポートなど、国内外の様々な情報源をスクリーニング。
規範トレンド	価値観の記述や、市民社会の関係者によるビジョンなど、あるべきトレンド。 ー中心となる事項（文化の多様性、新しいガバナンスの形、持続可能性と社会発展、社会的一体性、仮想世界等）に関する関係者や研究者のワークショップで議論。
隠れたトレンド	パラダイムの根本的変化に関係する小さな兆し。大変化の潜在可能性を明らかにするようなトレンド。 ーリードユーザー等へのインタビュー実施、専攻や地域性の多様性を考慮した博士課程学生参加のワークショップで議論。 (隠れたトレンドの例) 交換文化：商業ベース、福祉、個人ベースなど様々な形態をとって、日用品の交換が一般化する。 市民科学：ICT、オープンデータ、利用可能な実験施設の増加を背景に、市民自身が研究を行い、それらがプロジェクトとして統合される。 公共空間利用：公共空間の社会的意味合いが評価され、都市環境を利用した創造活動やスポーツなど、様々な利用がなされる。

出典：参考文献10を基に科学技術動向研究センターにて作成

来を予測し、新しいアイデアを提供できるリードユーザーの発想力を活用して、潜在可能性の把握に努めている。

### ○「サイクル」で考える

科学技術を出発点とし、社会需要の観点を入れた評価により重要領域を導出する工程（第1サイクル）と、将来社会需要を出発点とし、科学技術との関連から重要領域を導出する工程（第2サイクル）が、時間において時系列で実施されている。

科学技術も社会も変化し続けるものであり、特に萌芽的な領域や社会変化の潜在可能性といった捉えにくい対象については、様々な手法を取り入れ動的に把握していく必要があると考えられる。現時点で次のサイクルは計画されていないが、継続的議論の必要性が「サイクル」という命名に表れている。

## 3-2 政策検討に寄与する仕組み

政策検討に寄与する将来展望のキーワードとして、embedded、tailor-made、adaptive等の語がしばしば用いられる。本プロジェクトは、特定の政策策定と直接関係づけられたものではないが、実施主体である連邦教育研究省での検討に結び付けやすい調査設計を行っている様子が窺える。例えば、同省の所掌範囲を検討対象としていること、既存政策を基に分野を設定して議論をスタートさせていること、などである。

また、第1サイクル終了後に、政策展開に向けた2年間の期間が設けられていることも注目される。第1サイクルでは研究と分析のみが行われ、その後に社会実装のためのプロジェクトが続いた。導出された新学際領域は、一つの領域として確立されていない、流動的な段階にあると言える。具体的な政策検討の前段階として、幅広い関係者により発展的な議論を行うための期間設定は、こうした新学際領域の性格に見合うものである。

## 4 終わりに

本稿では、新学際領域や潜在ニーズなど、既定路線からの検討では認識されにくい事項を見出そうとするドイツの試みを紹介した。

具体的な商品（技術）が提供されない中で意見を求められる環境、すなわち、マーケティングでの応用場面と異なる条件下で、リードユーザーがどこまで将来の潜在ニーズを発想し得たのかなど、結果が取りまとめられていない現在では評価しにくい部分もある。しかし、インベンタースカウトやリードユーザーの取り込みなどの試みは、潜在可能性を把握する方法として一つの参考となろう。また、予算制限のため一括で実施できなかったという内部事情からの逆転の発想とも言える「サイクル」の考え方、一つの最終結果で終わらずに結果を出し続けるという考え方も、不確実性の高い将来への対応として興味深い。

将来を見通し、今取るべき手段としてどのような選択肢があるのかを見定めるための手法として、当所でも実施しているシナリオ分析やデルファイ調査を始め、様々な手法がある。また、ドイツでは前述のように連邦教育研究省下で、英国ではビジネス・イノベーション・技能省（BIS）政府科学庁（Go-Science）下でフォーサイトが実施されているのを始め、先進国・新興国を問わず、各国で様々なタイプの活動が繰り広げられている。当所では、これまで関係機関と随時情報・意見交換を行い、また、共同研究を実施してきた。ここで紹介したドイツのプロジェクトの調査設計に当たっては、長期戦略指針「イノベーション 25」（2007年6月1日閣議決定）に示されている目指すべき将来社会の検討<sup>1)</sup>の手法が参考にされた。今後も、国際、国、地域など様々なレベルの活動から得られる知見を学び合いつつ、より政策ニーズに合致した手法の洗練が望まれる。

## 参考文献

- 1) Directorate-General for Research. European Forward Looking Activities: EU Research in Foresight and Forecast. European Commission, 2010.
- 2) van der Giessen, Annelieke; van Schoonhoven, Bas. Policy options for surprising and emerging issues - Workshop report of the EFP Policy Workshop. European Foresight Platform, 2012.
- 3) BMBF ウェブサイト：http://www.bmbf.de/en/18378.php

- 4) 丹羽富士雄. 「Futur —ドイツにおける需要側からの科学技術政策の展開」. 科学技術動向, No. 27, 2003 年 6 月号.
- 5) Ideas. Innovation. Prosperity. High-Tech Strategy 2020 for Germany. BMBF, 2010.
- 6) The High-Tech Strategy for Germany. BMBF, 2006.
- 7) Cuhls, Kerstin; Ganz, Walter; Warnke, Philine. Foresight Process -Brief report. FhG-ISI, 2009.
- 8) Cuhls, Kerstin; Ganz, Walter. The BMBF Foresight Process: Second report to the Federal Ministry for Education and Research. FhG-ISI and FhG-IAO, 2008.
- 9) Cuhls, Kerstin; Ganz, Walter; and Warnke, Philine. Foresight Process -New Future Fields. IRB Publishers, 2009.
- 10) Warnke, Philine; Bogenstahl, Christoph; Kimpeler, Simone. "Foresight for Challenge Oriented RTI Policy: Recent Experience from Germany" . PACITA Conference (Prague, March 13-15th, 2013).
- 11) 科学技術政策研究所. 2025 年に目指すべき社会の姿. NISTEP REPORT No.101, 2007 年.

..... **執筆者プロフィール** .....



**横尾 淑子**

科学技術動向研究センター 上席研究官

科学技術・学術政策研究所にて、資源および科学技術人材に関する調査に従事。現在、科学技術予測に関する調査を担当。



# 地球環境研究に関する 国際プログラムの動向 —Future Earthについて—

増田 耕一 浦島 邦子

## 概 要

地球環境研究に関して国際科学会議(International Council for Science:ICSU)が推進する複数の国際研究プログラムが再編成され、Future Earth という新プログラムが2015年から10年間実施される予定となり、現在、実行体制の整備が進められている。Future Earthは、これまで実施されてきた、地球圏・生物圏国際共同研究計画(IGBP)、地球環境変動の人的側面に関する国際プログラム(IHDP)、生物多様性科学国際共同研究計画(DIVERSITAS)などを引き継ぐものであり、対象とする課題の広がりとはそれらと近いが、地球環境の限界の中で人間社会を持続可能なものに転換していくという社会的課題解決を志向することをさらに明確にしている。研究推進の体制としては、研究者とステークホルダーの協働が重視されている。日本はFuture Earthの初期設計に直接かかわることができなかったが、今後は積極的にかかわっていくことが求められている。そしてアジア地域の課題解決型研究のために、アジアの国々による国際共同研究推進体制を整備することに、日本は今まで以上に積極的に取り組んでいくことが望まれている。

**キーワード：**地球観測，環境，Future Earth，国際科学会議，日本学術会議

## 1 はじめに

地球環境研究に関する国際共同研究プログラムには、国際科学会議(International Council for Science:ICSU)<sup>1)</sup>が立案・実施の主導的役割を果たしている。ICSUは、1931年に設立された非政府、非営利の国際学術機関であり、事務局はパリに置かれている。日本学術会議を含む各国のアカデミー組織と各学問分野を代表する国際学会を取りまとめる組織であり、科学研究の国際的なコーディネーションの役割を担っている。ただしICSUの対象はおもに自然科学であり、社会科学については国際社会科学評議会(International Social Science Council:ISSC)が同様な働きをしている<sup>2)</sup>。ICSUは1980年以後、図表1に示す4つの研究プログラムを推進してきた。このうち気候変動を扱う世界気候研究計画(WCRP)は、世界

気象機関(World Meteorological Organization:WMO)<sup>3)</sup>の推進する世界気候計画(World Climate Programme:WCP)に科学的知識を提供する役割も持ち、ICSU、WMOおよび国連教育科学文化機関(United Nations Educational, Scientific and Cultural Organization:UNESCO)<sup>4)</sup>の政府間海洋学委員会(Intergovernmental Oceanographic Commission:IOC)<sup>5)</sup>によって共同推進されている。他のプログラムも、ISSC、UNESCO、国連環境計画(United Nations Environment Programme:UNEP)<sup>6)</sup>、国連大学(United Nations University:UNU)<sup>7)</sup>などが共同で推進している。また、国際生物科学連合(International Union of Biological Sciences:IUBS)、国際微生物学連合(International Union of Microbial Societies:IUMS)、環境問題科学委員会(Scientific Committee on Problems of the Environment:SCOPE)も上記の活動に一部共同推進機関として

図表 1 国際科学会議が関係する地球環境の国際共同研究プログラム

開始年	名称	略称	共同推進機関	主要内容
1980	世界気候研究計画 World Climate Research Programme	WCRP	WMO, IOC	大気・海洋・陸水などからなる気候システムの変動メカニズムの解明と予測能力向上
1987	地球圏・生物圏国際共同研究計画 International Geosphere-Biosphere Programme	IGBP		地球環境の物理・化学・生物プロセスとその人間活動との関連、とくに生物地球化学サイクルの解明
1990	地球環境変化の人間の側面に関する国際研究計画 International Human Dimensions Programme on Global Environmental Change	IHDP	ISSC, UNU	地球環境変化の原動力となる人間活動や、地球環境変化への人間社会の対応に関する社会科学研究
1991	生物多様性科学国際共同研究計画 International Programme of Biodiversity Science	DIVERSITAS	UNESCO, SCOPE, IUBS, IUMS	生物多様性の起源、構成、機能、保全などに関する国際的な調査研究。保全政策や持続可能な利用に関する科学的な知識を提供する

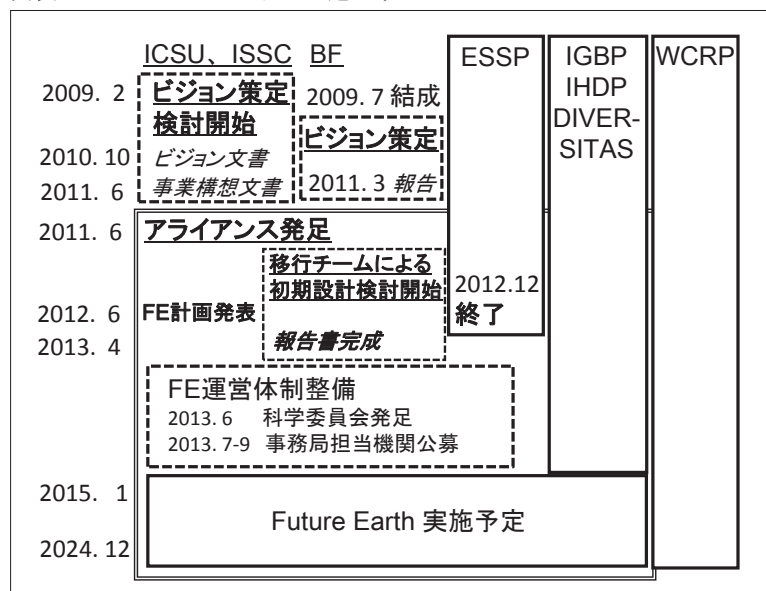
参加している。

これらの国際プログラムは従来の専門分野の壁を越える学際的研究活動をしてきた。2001 年からは 4 プログラムの連携活動として地球システム科学パートナーシップ (Earth System Science Partnership: ESSP)<sup>8)</sup>が発足し、炭素循環、水、食料、健康の 4 主題それぞれに関する総合を行なった。モンスーンアジア統合地域研究 (Monsoon Asia Integrated Regional Study: MAIRS)<sup>9)</sup>も ESSP の下で行なわれた。しかし、各国際プログラムの活動はそれに参加する研究者の専門的問題関心によって継続されることになりがちであり、そのままでは社会的課題の解決の道筋につながらないおそれがあると考えられるようになった。

2009 年、ICSU と ISSC は地球環境に関する国際プログラムの長期ビジョン策定を開始した<sup>10)</sup>。この長期ビジョン策定と並行して、地球変動問題出資機関国際グループ (International Group of Funding Agencies for Global Change Research: IGFA) 内の有志連合であったベルモント・フォーラム (Belmont Forum: BF) も社会的期待に応える研究推進体制の検討をした<sup>11,12)</sup>。国際プログラムの立案に研究資金提供機関がおもてに出てきたのは新しい特徴である<sup>13)</sup>。この ICSU・ISSC の長期ビジョンと BF の報告の両方を受けて、従来の国際プログラムのうち 3 つを解消して再編成することとなった。WCRP は、WMO の「気候サービスのための世界的枠組み (GFCS)」

を支援する役割もあるので、存続して新プログラムの外から協力することになった。これらの概要を図表 2 に示す。2011 年 6 月、ICSU、ISSC、UNESCO、UNEP、UNU、BF (およびオブザーバーとして WMO) を構成員とする「全球持続可能性のための科学技術アライアンス」(Science and Technology Alliance for Global Sustainability、以下アライアンス)<sup>14)</sup>が発足し、そのもとに構成された移行チームによる検討が進められた。その結果、Future Earth (フューチャー・アース)<sup>15)</sup>という名の国際プログラムが 2015 年から 10 年間実施されることが決定した。Future Earth は、これまで実施されてきた IGBP、IHDP、DIVERSITAS などを引き継ぐものでもあるが、地球環境の限界の中

図表 2 Future Earth までの道のり



出典：参考文献 17 を基に科学技術動向研究センターにて作成

で人間社会を持続可能なものに転換していくという社会的課題解決への志向をより明確にしている<sup>16)</sup>。2013年5月には移行チームが初期設計報告書<sup>17、18)</sup>を発表して任務を終え、現在、アライアンスのもとで同報告書に基づく組織づくりが進行中である。

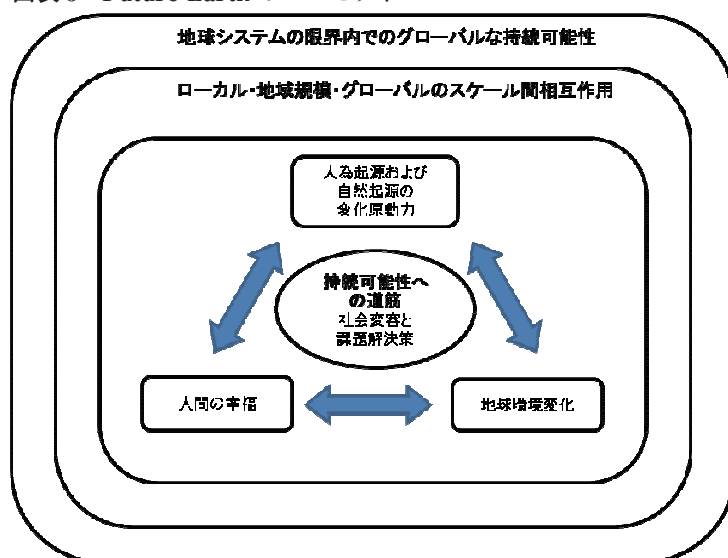
本稿では、このFuture Earthの概要について解説し、今後日本が取り組むべき優先課題について考察する。

## 2 Future Earth とは

### 2-1 Future Earth のめざすもの

Future Earth のコンセプトを図表3に示す。環境変化の原動力は自然のものも人為起源のものも重要であり、それは環境を変化させるとともに人間の幸福に影響する。人間が幸福を求めることが人為起源の環境変化の原動力をもたらす。人間社会が持続可能であるためにはグローバルな地球システムの限界を越えないようにしなければならない。しかし人間の幸福に直接影響するのはローカルな環境であり、ローカルからグローバルまでさまざまなスケールの間の相互作用を検討する必要がある。

図表3 Future Earth のコンセプト



出典：参考文献17を基に科学技術動向研究センターにて作成

図表4 Future Earth の研究テーマと内容概要

テーマ	内容概要
ダイナミックな惑星	地球・環境社会のシステムの変化傾向・原動力・プロセスとその相互作用を観測・説明理解・予測し、全地球規模の限界やリスクを予見する。
グローバルな開発	食料、水、生物多様性、エネルギー、材料、その他の生態系の機能やサービスについて、持続可能で確実に公正な維持管理という人類の切実な需要に応じた知識をもつ。
持続可能性に向けての転換	社会の変容のプロセスとオプションを理解し、それらが人間の価値や行動・新たに出現する技術・社会経済的発展の道筋にどうかかわるかのアセスメントを行い、さまざまなスケールやセクターにわたる地球環境を管理・経営していく戦略を評価する。

出典：参考文献17より科学技術動向研究センターにて作成

## 2-2 研究課題の柱

Future Earth が扱う研究課題の基本構成は、従来の専門分科別や環境問題別の分類ではなく、図表4に示すような「ダイナミックな惑星」、「グローバルな開発」、「持続可能性に向けての転換」の3つのテーマに分類される。これまでの地球環境研究の課題は、自然・社会のいずれを扱う場合も「ダイナミックな惑星」に分類されるものが多い。他の2テーマはむしろ、国連のミレニアム開発目標（MDGs：Millennium Development Goals）に続き途上国だけでなく先進国の課題でもある「持続可能な開発目標」（SDGs：Sustainable Development Goals）に関連が強い。従来の地球環境研究プログラム（とくにIHDP）でもこうした研究テーマを取り上げてはいるが、Future Earth プログラムではこれまで地球環境研究に含まれていなかった開発研究などの要素を取り込む必要があるであろう。



Future Earth の実施計画では、続いて、この3テーマを支えるために整備すべき項目をあげている。まず、3テーマに共通して使われる基盤として、観測システム、データシステム、地球システムモデリング、理論構築の4項目をあげている。たとえば、データシステムは「ダイナミックな惑星」で自然と社会のシステムのふるまいを統合的に理解する基盤でもあり、「持続可能性に向けての転換」で将来の環境と社会の変容のシナリオを検討する基盤でもある。なお、観測システムについては政府間機関である地球観測グループ（GEO：Group on Earth Observations）が推進している全球地球観測システム（GEOSS：Global Earth Observation System of Systems）、データシステムについてはICSUの世界科学データシステム（WDS：World Data System）との連携が示唆されている。

共通に整備すべき内容としてはさらに、スコーピングと総合、コミュニケーションと参画、人材育成（capacity building）と教育、科学と政策のインタフェースをあげている。科学と政策のインタフェースには、生物多様性および生態系サービスに関する政府間科学政策プラットフォーム（IPBES：Intergovernmental Platform on Biodiversity and Ecosystem Services）や気候変動に関する政府間パネル（IPCC：Intergovernmental Panel on Climate Change）などの国際的政策決定の材料となるアセスメントへの貢献を含んでいる。

## 2-3 学際性およびステークホルダーの関与

従来の科学研究では、「社会のための科学」と言っても研究者主導であることが多かったが、Future Earthでは研究者とステークホルダーが対等な立場でともに学び研究することが重要とされている<sup>19)</sup>。Future Earthの研究は、環境問題解決や持続可能な発展に関する社会の意志決定を支援する役割がある。

まず、研究の企画段階では、ステークホルダーが期待する課題解決に向かい、かつ研究者が実施可能な計画をたてる必要がある。研究の実行は研究者が主になるが、ステークホルダーにとっての意義を確認しながら進める必要がある。そして成果を広く提供していく段階ではまたステークホルダーが主役となる。このように段階ごとに関与の深度に違いはあるが、参画者が協同実施することが期待されている。

Future Earthに参画することが期待されるステークホルダーとして、研究者・研究機関、科学・

政策インタフェース、研究資金提供機関、政府、開発組織、産業、市民社会、メディアの8つのグループを挙げている。このうち「科学・政策インタフェース」にはIPBESやIPCCなどの国際アセスメントのための組織を含んでおり、「開発組織」には世界銀行などの機関を含んでいる。「市民社会」には、国際交渉に参加するNGOも、先住民のコミュニティも含んでいるが、潜在的にすべての人が利害関係者になりうる地球環境問題のうちでどのような課題にはどのような人が含まれるべきかはまだ明確にされていない。

## 2-4 運営体制

Future Earthの運営体制は次のように考えられている。従来の国際プログラムでは、ICSUなどの推進機関の下に研究者からなる運営委員会が作られ研究プロジェクトの実行に関する実質的決定をすることが多かった。Future Earthではアライアンスの下にガバニング・カウンシルを、その下に、研究者からなる科学委員会と対等に、ステークホルダーの参加を確実にするためのエンゲージメント委員会を置く体制となる。そしてこれらを支える事務局が置かれる。

このうちまず科学委員会が2013年6月に発足したが、この委員の一人として日本人（安成哲三氏・総合地球環境学研究所長）も選出された。今後事務局が2014年中ばに決定し、2015年に発足予定である。

## 3 日本の関与と動き

日本では、ICSU等による長期ビジョン策定および移行チームの動きを注視しながら、日本学術会議内の各国際プログラムにかかわる小委員会メンバーと、総合地球環境学研究所（地球研）のメンバーとが中心になって、新プログラムに対応する日本での活動推進に関する検討が行われた。その過程では国際シンポジウム<sup>20,21)</sup>も開催され、アジア地域の協力活動の構想が考えられた。また日本国内の地球環境研究活動の連携であるGEC-Japan<sup>22)</sup>も発足した。ここまでの経緯は参考文献<sup>23～25)</sup>にまとめられている。

初期設計報告書を受けて、日本学術会議では国際

委員会の下に Future Earth を扱う新委員会を作ることを 2013 年 4 月に決定し、6 月に発足させた。これは世界の Future Earth の運営体制のうちの科学委員会に対応する国内組織となる。

日本学術会議は 2013 年 6 月にフォーラム「Future Earth: 持続可能な未来の社会へ向けて」を開催した。ここでは世界の Future Earth の構想と、これまでの地球環境研究プログラムが達成しつつあることの紹介の他に、人文・社会科学（国際政治学、科学技術社会論、経済学、文化人類学など）と、科学技術政策、環境国際協力、環境教育などの観点からの問題提起や期待を受けて討論を行なった。

文部科学省では 2013 年 5 月、科学技術・学術審議会 研究計画・評価分科会 環境エネルギー科学技術委員会の下に「持続可能な地球環境研究に関する検討作業部会」を作って日本の取り組み方策の検討が進められ、論点整理の中間取りまとめがなされた<sup>26,27)</sup>。

なお、ベルmont・フォーラムには文部科学省および科学技術振興機構 (JST) が参加し、当面 Future Earth とは別個に開始された国際共同研究事業のうち「淡水の安全保障」は科学技術振興機構 (JST)、「沿岸の脆弱性」は日本学術振興会 (JSPS) が事務を担当している。

## 4 まとめと提言

地球環境に関する課題解決には国際的取り組みが不可欠である。1957-58 年に実施された国際地球観測年 (IGY) をはじめ、政治的には必ずしも協調行動をとらない国も含めて、科学に関する共同事業を成功させてきた ICSU の意義は大きい。日本としても今後も ICSU が推進する国際プログラムに参加していくことは必須と考えられる。

Future Earth の設計に関して、日本からは長期ビジョン策定にも移行チームにも誰も選定されなかったため、これまで深くかかわれなかった。しかし具体的な制度設計はまだ途上なので、今後日本は積極的に関与し、その中で日本が無理なく参加でき

る制度にしていくべきであろう。

ステークホルダーとの協働による研究活動は、JST の社会技術研究開発センター (RISTEX) の一部の事業などの実績はあるものの、多くの研究者や研究推進機関にとって経験が乏しい。しかし、研究者とステークホルダーの相互作用の活発化はいずれにせよ必要なことである。

アジアは世界人口の過半が住むところであり、しかも多くの巨大都市が海岸のデルタ地帯に位置し都市と海岸の問題が複合することが多い。また、欧州や北米に比べると、急激な洪水が起こりやすく、また地震・火山の多い地域を多く含むので、環境変化への適応・回復力と防災の課題を切り離しがたいという特徴がある。世界の課題解決の中でアジア域の取り組みは必須であり、そこで日本の働きは自他ともに期待されている。もちろん、日本はアジアのことだけ考えればよいわけではなく、アフリカ等を含む世界を視野に入れる必要がある。

日本が、これまでの国際プログラムに大きく貢献してきたにもかかわらず、再編成の立案にかかわる機会を与えられなかったのは、偶然もあるが、日本の研究リーダーが国際プログラムの下プロジェクトでは主導的役割を果たすことがあったにもかかわらず、国際プログラム全体によく見える位置にいたことが少なかったことや、国際機関や国際プログラム事務局で働く日本人が少なかったことも要因と考えられる。また、欧州と違って、アジアあるいは東アジアの地域レベルで国際共同研究を推進するための意志決定機構や研究資金提供機構が発達していない。世界レベルの意志決定の場にアジアのどこかの国からメンバーが参加していても、その人を通じて日本の意向が伝わるしくみになっていなかった。以上をふまえると、今後は日本から、国際プログラムのリーダーにも、また事務局にももっと積極的に人を出していくべきである。そのためにはその人の業績評価やキャリアパスの考慮も必要となる。また、アジア地域の多数の国が対等な立場で能力に応じて参加できるような国際共同研究推進体制を整備し、その中で日本の活動も見えるようにしていく必要がある。

## 参考文献

- 1) 国際科学会議ウェブサイト; <http://www.icsu.org/>
- 2) 国際社会科学評議会ウェブサイト; <http://www.worldsocialscience.org/>
- 3) 世界気象機関ウェブサイト; [http://www.wmo.int/pages/index\\_en.html](http://www.wmo.int/pages/index_en.html)

- 4) 国連教育科学文化機関ウェブサイト；<http://en.unesco.org/>
- 5) 政府間海洋学委員会ウェブサイト；<http://ioc-unesco.org/>
- 6) 国連環境計画ウェブサイト；<http://www.unep.org/>
- 7) 国連大学ウェブサイト；<http://unu.edu>
- 8) 地球システム科学パートナーシップウェブサイト；<http://www.essp.org>
- 9) モンスーンアジア統合地域研究ウェブサイト；<http://www.mairs-essp.org>
- 10) Earth System Science for Global Sustainability: the Grand Challenges.  
ICSU ウェブサイト；<http://www.icsu.org/future-earth/publications/reports-and-reviews/grand-challenges>
- 11) The Belmont Challenge、地球変動問題出資機関国際グループウェブサイト；<http://igfagr.org/index.php/challenge>
- 12) ベルモント・フォーラムについて、文部科学省ウェブサイト；  
[http://www.mext.go.jp/b\\_menu/shingi/gijyutu/gijyutu2/068/shiryo/\\_\\_icsFiles/afieldfile/2013/06/13/1336155\\_03.pdf](http://www.mext.go.jp/b_menu/shingi/gijyutu/gijyutu2/068/shiryo/__icsFiles/afieldfile/2013/06/13/1336155_03.pdf)
- 13) フューチャー・アースのファンディング戦略、文部科学省ウェブサイト；  
[http://www.mext.go.jp/b\\_menu/shingi/gijyutu/gijyutu2/067/shiryo/\\_\\_icsFiles/afieldfile/2013/05/07/1334402\\_02.pdf](http://www.mext.go.jp/b_menu/shingi/gijyutu/gijyutu2/067/shiryo/__icsFiles/afieldfile/2013/05/07/1334402_02.pdf)
- 14) 全球持続可能性のための科学技術アライアンス；<http://stalliance.org/>
- 15) Future Earth 暫定ウェブサイト；<http://www.icsu.org/future-earth>
- 16) 安成哲三,「Future Earth—地球環境変化研究における新たな国際的な枠組み」。  
JGL 8 巻 4 号 13-14 (2012 年) 日本地球惑星連合；<http://www2.jpgu.org/publication/jgl/JGL-Vol8-4.pdf>
- 17) Future Earth Draft Initial Design Report (17<sup>th</sup> April 2013).  
[http://www.icsu.org/future-earth/media-centre/relevant\\_publications/FutureEarthdraftinitialdesignreport.pdf](http://www.icsu.org/future-earth/media-centre/relevant_publications/FutureEarthdraftinitialdesignreport.pdf)
- 18) 初期設計報告書抄訳「フューチャー・アースグローバルな持続可能性のための研究—」Initial Design Report by the  
Future Earth Transition Team、2013 年 4 月 17 日；  
[http://www.mext.go.jp/b\\_menu/shingi/gijyutu/gijyutu2/068/shiryo/\\_\\_icsFiles/afieldfile/2013/06/13/1336155\\_02.pdf](http://www.mext.go.jp/b_menu/shingi/gijyutu/gijyutu2/068/shiryo/__icsFiles/afieldfile/2013/06/13/1336155_02.pdf)
- 19) Mauser, W., G.Klepper, M. Rice, B.S. Schmalzbauer, H. Hackmann, R. Leemans, & H. Moore. "Transdisciplinary global  
change research: the co-creation of knowledge for sustainability." Current Opinion on Environmental Sustainability, in press  
available online (2013)；<http://dx.doi.org/10.1016/j.cosust.2013.07.001>
- 20) 日本学術会議, 持続可能な社会のための科学と技術に関する国際会議 2011；  
<http://www.scj.go.jp/ja/int/kaisai/jizoku2011/ja/>
- 21) 総合地球環境研究所, 国際シンポジウム "Future Asia"；  
[http://www.chikyu.ac.jp/archive/topics/2012/symposium\\_121213-14.html](http://www.chikyu.ac.jp/archive/topics/2012/symposium_121213-14.html)
- 22) GEC-Japan Platform ウェブサイト；<http://www.chikyu.ac.jp/gec-jp/>
- 23) 安成哲三ほか,「特集 地球環境変化研究における国際動向」 学術の動向、2012 年 11 月号 (2012 年)  
日本学術協力財団；<http://www.h4.dion.ne.jp/~jssf/text/doukousp/2012-11.html>
- 24) 総合地球環境学研究所「地球環境研究の統合と挑戦—国際共同研究と未来設計イニシアティブ」(2012 年)；  
<http://www.chikyu.ac.jp/archive/documents/others/occasional/>
- 25) 安成哲三ほか,「特集 地球環境科学とグローバルガバナンス」。季刊環境研究、170 号 (2013 年)  
日立環境財団；<http://www.hitachi-zaidan.org/kankyo/book/00170.html>
- 26) フューチャー・アースについて—日本の取組—、日本学術会議国際担当副会長春日文子；[http://www.mext.go.jp/b\\_menu/shingi/gijyutu/gijyutu2/067/shiryo/\\_\\_icsFiles/afieldfile/2013/05/07/1334402\\_01.pdf](http://www.mext.go.jp/b_menu/shingi/gijyutu/gijyutu2/067/shiryo/__icsFiles/afieldfile/2013/05/07/1334402_01.pdf)
- 27) 持続可能な地球環境研究に関する検討作業部会、文部科学省ウェブサイト；  
[http://www.mext.go.jp/b\\_menu/shingi/gijyutu/gijyutu2/068/shiryo/1336155.htm](http://www.mext.go.jp/b_menu/shingi/gijyutu/gijyutu2/068/shiryo/1336155.htm)



..... 執筆者プロフィール .....



**増田 耕一**

科学技術動向研究センター 客員研究官

専門は地球環境科学、とくに全地球およびアジアの気候と水循環。地球環境に関するデータや知識の共有に関心をもつ。地球温暖化の予測型研究の周辺で働き、政策やその他の社会的意志決定に対する科学の役割にも関心をもつようになった。



**浦島 邦子**

科学技術動向研究センター 上席研究官

工学博士。日本の電機メーカー、カナダ、アメリカ、フランスの大学、国立研究所、企業にてプラズマ技術を用いた環境汚染物質の処理ならびに除去技術の開発に従事後、2003年より現職。世界の環境とエネルギー全般に関する科学技術動向について主に調査中。

# 健康長寿社会の実現に向けた 喫煙リスク研究の動向

本間 央之

## 概 要

2013年6月に閣議決定された『科学技術イノベーション総合戦略』（総合戦略）の課題のひとつとして「健康長寿社会の実現」が挙げられている。その重点的取り組みである「健康づくりのエビデンス創出」は、課題の特定と規模の把握に不可欠な役割を果たす。エビデンス創出に関連した最近の世界の研究動向から、特に喫煙は、従来の認識を改めるほどに疾患リスクを高め、健康余命を短縮することが明らかとなってきた。たばこ問題は、経済的にも大きな損失を生み出しており、総合戦略の基本的考え方である「課題解決型の政策体系（プログラム）に組み上げる」ことが必要と言える。

より効果的な政策を形成する観点から、重点的に対策をとるべき高リスク群を同定する研究への取り組みは重要である。喫煙のリスクとさまざまな要因（社会経済的状態、健康状態、遺伝子、摂取物質等）との関連を解明することにより、政策的に重点を置くべき対象者の選択や介入手段の選択・開発につなげることができる。こういった研究の多くは、総合的な疫学研究の中に位置づけることができ、他要因の課題解決との相乗効果も期待できる。

**キーワード：**健康長寿，疫学，たばこ，依存症，保健政策

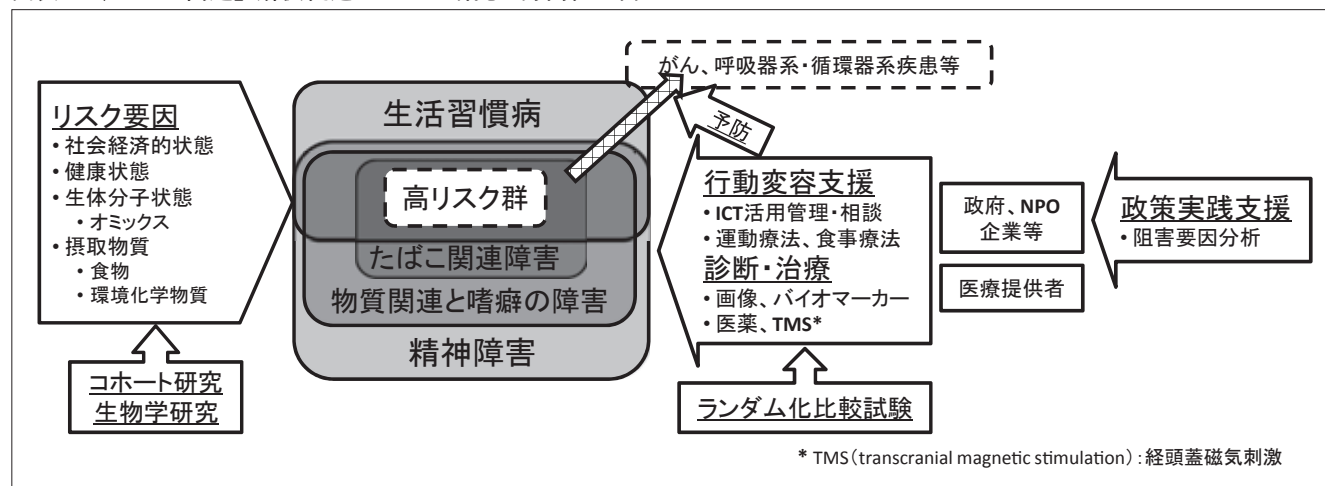
## 1 はじめに一政策との関連

本稿では、第一に、たばこ問題の重要性を示す最近の研究動向を紹介する。2013年6月に閣議決定された『科学技術イノベーション総合戦略』（総合戦略）の5つの課題のひとつに「国際社会の先駆けとなる健康長寿社会の実現」がある。その中の9つの重点的取り組みのひとつである「健康や疾病予防に与える影響について疫学研究等を推進し、健康づくりのエビデンスを創出」は、課題の特定と規模の把握に重要な役割を果たす。エビデンス創出に関連した最近の世界の研究から、数ある保健政策課題の中で、たばこ問題の重要性がますます高まっていることが判明してきている。我が国では、たばこ対策は『がん対策基本法』に基づく『がん対策推進基本計画』（2012-2016年度）の「予防」において、筆頭に挙げられ、唯一数値目標を持っている。しかしなが

ら、新しいエビデンスにより、たばこ対策全体を強化する方向に見直す必要性が生じてきている。

第二に、課題解決を加速させるのに必要なさまざまな研究の方向性がある中で、重点的に対策をとるべき、喫煙による死亡率が高いと予想される人たち（高リスク群）を同定する研究の方向性を紹介する。総合戦略が目指している社会像の実現のためには、総合戦略の基本的考え方である「課題解決型の政策体系に組み上げる」ことが必要である。重点的取り組み「健康づくりのエビデンス創出」の主な取り組みに「政策研究の実施」が掲げられているが、たばこ問題の研究は、世界保健機関（World Health Organization：WHO）の包括的たばこ規制政策「MPOWER」<sup>注1)</sup>等として結実している。しかしながら、より効果的な政策を形成する観点から、実践上の課題の解決に資する新たな研究への取り組みが必要である。我が国では集計されていないが、米国立衛生研究所（National Institutes of Health：NIH）

図表1 「たばこ問題」解決促進のための研究の方向性の例



※依存症関連疾患は、2013年5月に公表された米国の精神障害診断基準 DSM-5 では、「たばこ関連障害」も含まれる「物質関連と嗜癖の障害」となる。WHO の疾病分類 ICD-10 では、「たばこ使用による精神および行動の障害」も含まれる「精神作用物質使用による精神および行動の障害」となる。

のたばこ分野研究の2012年度予算実績は、3億5千5百万ドルである<sup>1)</sup>。そして米国では、実践科学 (implementation science) を含む行動・社会科学研究が、社会的な価値の創出や問題の解決において重要な役割を持つことが認識され、NIH の行動・社会科学分野研究の2012年度予算実績は36億8千2百万ドルとなっており、その一部がたばこ分野研究にも活かされている<sup>1)</sup>。米国と比較して研究予算規模が小さい我が国は、海外の成果を活用できない領域や他分野との相乗効果が期待できる研究を優先し、効率的な総合的なたばこ対策研究プログラムを組むことが必要と考えられる。そもそも喫煙者全体が高リスク群であるが、その中でさらに高リスク群を同定することにより、介入の強度を高めるべき対象者の選択や介入手段の選択・開発につなげることができる。そういった研究を、やはり他分野との相乗効果が期待できる、禁煙（行動変容）支援・治療を改善・加速させる研究や政策実践の阻害要因に対処する研究等の成果と結びつけ、健康寿命延伸につなげることができる（図表1）。

## 2 健康長寿を妨げている リスク要因

2012年12月、50カ国の302機関が参画した世界疾病負担研究『GBD (The Global Burden of Diseases, Injuries, and Risk Factors Study) 2010』の成果が、英医学誌 Lancet の特集号に論文7篇と付随論評で報告された<sup>3)</sup>。最初の GBD が実施された1990年以来、世界の傷病動向は劇的に変化し、不健康な状態で長生きしている人が急速に増えている実態が明らかになった。この研究で、疾病や傷害の健康余命に対する負担を総合的に表す指標である「障害調整生命年 (Disability-Adjusted Life Year : DALY)」<sup>注2)</sup>を増加させる43のリスク要因の中で、喫煙（受動喫煙を含む）は世界および先進国において、依然として健康長寿を妨げている最も重大なリスクの一つであることが判明した（世界の DALY の6.3%）（図表2）<sup>4)</sup>。

2012年1月の報告によれば、2007年の我が国の成人死亡の16の予防可能なリスク要因の中で、喫煙は高血圧を凌いで1位であった<sup>5)</sup>。過去27年以上にわたって、高血圧による脳卒中死亡者数は減少する一方、喫煙によるがん死亡者数は増加して

注1 WHO は、我が国も批准している『たばこ規制枠組条約 (FCTC)』（2005年発効：2013年2月現在176カ国締結）の実行を助けるために、効果的と証明された6つの方針の頭文字をとったたばこ規制政策「MPOWER」を提示し、各国の取り組みを評価している（補足ファイル参照）<sup>2)</sup>。6つの方針とは、Monitor：使用と予防策の監視、Protect：公共空間環境規制、Offer：禁煙支援・治療、Warn：たばこ包装警告表示、Enforce：広告・販促・後援規制、Raise：課税引き上げ。

注2 障害調整生命年 (DALY)：傷病や障害により失われた「損失生存年数 (Years of Life Lost : YLL)」と「障害生存年数 (Years Lived with Disability : YLD)」の合計値。YLL = 死亡数 × 死亡年齢時標準平均余命、YLD = 発生数 × 障害の重み付け × 回復または死亡までの年数。



図表2 DALYを増加させるリスク要因の世界地域別順位

	世界	高所得アジア太平洋*	西欧	高所得北米
1	高血圧	高血圧	喫煙	喫煙
2	喫煙	喫煙	高血圧	肥満
3	家屋内空気汚染**	低身体活動	肥満	高血圧
4	低果実食	低果実食	低身体活動	空腹時高血糖
5	飲酒	飲酒	空腹時高血糖	低身体活動

出典：参考文献4を基に科学技術動向研究センターにて作成

・43要因中上位5位までを抜粋。世界21地域中、全体と3地域（左から平均余命が1位、2位、4位）を抜粋。

\* 高所得アジア太平洋は、ブルネイ・ダルサラーム、日本、韓国、シンガポールの4カ国。\*\* 固形燃料によるもの。

きた。有効な政策介入が無いと、喫煙関連死の増加傾向は、少なくとも2030年代後半まで続くかもしれないとしている。

## 3 喫煙の不利益と禁煙の利益の大きさ

### 3-1 米国・英国の疫学研究

2013年1月、米国における喫煙の害と禁煙の利益に関する2つの疫学研究の結果が、米医学誌NEJM（New England Journal of Medicine）に報告された。

#### 3-1-1 トロント大学・Jhaらの研究 喫煙により10年以上の余命損失

##### —40歳までの禁煙でリスクは9割減

一つは、1997-2004年の米国民健康調査に参加した25歳以上の男女20万人以上の喫煙・禁煙歴のデータを、2006年末までに起こった死亡の原因と関連づけたものである<sup>6)</sup>。喫煙者と非喫煙者（喫煙歴なし）の比較は、年齢、教育水準、肥満度、アルコール摂取の違いによる影響が排除されるよう、統計学的に調整された（人種は実質的な影響なし）。主要な結果は次の通りである。

- 25-79歳の全死因死亡率は、喫煙継続者では非喫煙者の約3倍であった（調整ハザード比：男性2.8、女性3.0、信頼区間（confidence interval）は論文としては重要であるが、本稿では省略）。
- 喫煙継続者の超過死亡は主になんがん、血管系および呼吸器系疾患によるものであった。肺がんによる死亡のリスクは、非喫煙者と比較して男性14.6倍、女性17.8倍であり、呼吸器系疾患による死亡のリスクは、男性9.0倍、女性8.5倍であった。
- 喫煙継続者の平均余命は、非喫煙者より10年以

上短かった（図表3）。

- 禁煙者の平均余命は、禁煙した年齢が若ければ若いほど、喫煙継続者より長かった（図表3）。40歳までに禁煙すると、喫煙継続により増加する死亡リスクは約90%低下した。

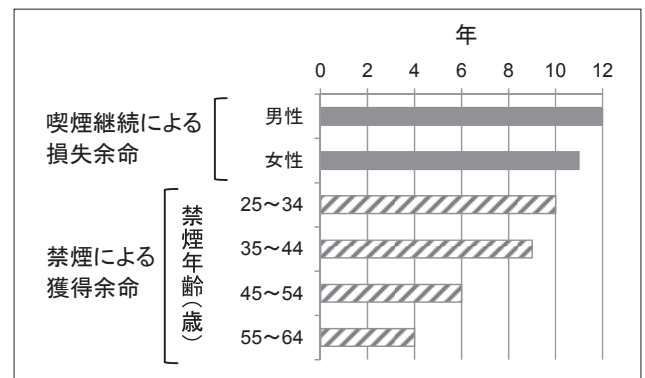
#### 3-1-2 アメリカがん協会・Thunらの研究 50年来、喫煙のリスクは上昇

##### —男女で同水準に

もう一つの研究では、3つの期間（1959-65年、1982-88年、2000-10年）の喫煙関連死亡の変化を評価した<sup>7)</sup>。2つの過去のコホート（観察対象集団）と現代のコホート（5つの研究からの集合）のうち、追跡調査期間中に55歳以上になったそれぞれ約52万人、約75万人、約96万人の参加者について評価した。年齢、人種、教育水準について統計学的に調整した。主要な結果は次の通りである。

- 喫煙継続者の死亡のリスクは、50年来上昇し、男女で同等の水準に達した（図表4）。
- 特に、肺がんや慢性閉塞性肺疾患（Chronic Obstructive Pulmonary Disease：COPD）による死亡のリスクは顕著に増加し、男女ともに25倍程度となった（図表4）。
- どの年齢で禁煙しても、死亡率は劇的に低下した。COPDによる死亡率は、非喫煙男性では減少している（10万人当たり各期間39.4、33.7、18.6）—

図表3 喫煙と禁煙による余命変化



出典：参考文献6を基に科学技術動向研究センターにて作成

方、喫煙男性では3つの期間にわたって継続的に上昇している。このことは、たばこ葉、巻紙、フィルターの変化がもたらした深い吸入が原因であり、これらの設計の変化は、肺がんの発生部位や種類の変化（入口部分に好発する扁平上皮がん和小細胞がんの減少、奥の部分に好発する腺がんの増加）に寄与している可能性もあると考察している。

同誌の論評は、一日当たりの喫煙本数が多いと考えられる集団が少なくサンプリングされていることから、死亡率についてなお過小評価している可能性を指摘している<sup>8)</sup>。

### 3-1-3 オックスフォード大学・Pirieらの研究 女性への長期的喫煙の影響が初めて明らかに

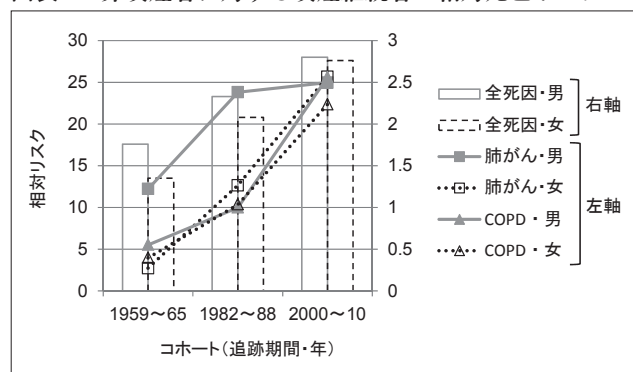
2013年1月のLancetに発表された英国の疫学研究では、1996-2001年にリクルートした50-69歳の女性118万人を2011年元旦まで追跡した<sup>9)</sup>。やはり喫煙継続により10年以上の生存期間が失われ、40歳までの禁煙により90%以上の超過死亡リスクを回避できることが判明している。

欧米では若年女性の喫煙率は1960年代までピークに到達せず、男性より数十年遅れていた。そのため従来の研究では、女性の死亡率に対する喫煙の影響が過小評価されていた。

## 3-2 放射線影響研究所・坂田らと オックスフォード大学の共同研究 我が国でも10年の余命短縮 —4年ではない

2012年10月の英医学誌BMJに、我が国でも、若年からの喫煙継続者は、10年程度余命が短縮されることが報告された<sup>10)</sup>。日本人に関する過去の4つの大規模コホート研究では、余命短縮は4年程度と報告されていた。しかしながら、それらの研究は、喫煙開始年齢が遅く一日当たりの喫煙本数

図表4 非喫煙者に対する喫煙継続者の相対死亡リスク



出典：参考文献7を基に科学技術動向研究センターにて作成

も少ない1920年以前生まれの世代に関する調査であり、喫煙のリスクが過小評価されていた可能性があった（図表5の日本の項参照）。

今回の研究では、男女約6万8千人の喫煙情報を1963-92年に取得し、2008年まで平均23年間の喫煙習慣と生存との関連を追跡した。20歳前に喫煙を開始した1920-45年生まれの喫煙継続者は、非喫煙者と比較して、男性で8年、女性で10年余命が短縮していた。全死因死亡のリスクは、男性2.2倍、女性2.6倍であった。35歳までに喫煙を止めた人は、過剰リスクをほぼ全て回避することができ、35-44歳で禁煙した人も大部分回避できた。1992年より後の喫煙状態は今回の結果に反映されておらず、途中からの禁煙者が喫煙者に算入されているので、真の喫煙リスクは今回の研究でもなお、おそらく過小評価されていると論文では考察している。

## 3-3 新しいエビデンスに基づく 議論の必要性

以上のように、新しい疫学研究によると、喫煙の健康リスクは増大してきている。これまでの我が国の喫煙リスクへの対応は、リスクを過小評価している可能性がある過去の国内研究を根拠としているものが多く、再検討の必要がある。かつての疫学研究結果が現代に当てはまらない理由は、図表5のようにまとめられる。状況は常に変化しており、健康課題の特定と規模の把握のために、今後も継続的な疫学研究が必要とされる。

## 3-4 我が国の喫煙率の問題

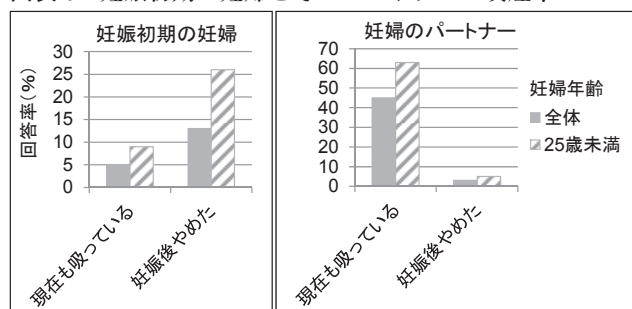
我が国では、女性喫煙率は低いものの横ばいであり、男性喫煙率は低下傾向にあるものの30-50代は40%程度と他の先進国と比較して依然高く<sup>11, 12)</sup>、欧米と比較して遅れているたばこ問題への取り組み<sup>2)</sup>の強化が必要とされる（補足ファイル参照）。

妊娠出産や胎児への影響が懸念される妊婦とその

図表5 かつてのたばこ疫学研究結果が現代に当てはまらない理由

全体	・他のリスク要因の変化。予防・治療方法の改善。 ・禁煙者の出現。たばこ設計の変化。
女性	・たばこ普及の遅れ。
日本	旧研究は、 ・喫煙開始年齢が遅く、喫煙本数の少ない世代が対象。 ・短い追跡期間。喫煙状態調査が1回のみ。

図表6 妊娠初期の妊婦とそのパートナーの喫煙率



出典：参考文献13を基に科学技術動向研究センターにて作成『子どもの健康と環境に関する全国調査（エコチル調査）』の中間報告として、2012年10月末までに登録されたクリーニング前のデータを用いた集計結果。

パートナーでは、環境省が全国約3万3千人の妊婦を調査した結果、妊婦年齢が25歳未満の若い世代の喫煙率が最も高いと報告されている（図表6）<sup>13)</sup>。ちなみに、2013年7月の英国等のグループによる最新の報告では、誕生時および受胎時の養子を含むコホートを扱う研究デザインによって、遺伝的要因や育児環境を考慮し、妊娠中の喫煙と子供の行為障害の関連を観察している<sup>14)</sup>。

## 3-5 経済的損失

医療経済研究機構の推計では、余命損失を4年とする3つの国内研究の併合データを採用し、2005年度の喫煙によるコスト（①健康面、②施設・環境面、③労働力損失）は、算出可能項目の合計で総額は約4兆3千億円となった<sup>15)</sup>。これに参考値である「超過介護費」と「喫煙時間分の労働力損失」を加えると、約6兆4千億円となった。一方、厚生労働科学研究費補助金の報告書では、余命損失は欧米のグループの我が国についての推計値である12年を採用し、2005年度の社会的損失（医療費、入院・死亡・火災による損失）を約4兆9千億円と試算している<sup>16)</sup>。経済損失については、計算項目、採用データ、推計手法等において、つねに検討の余地があるが、巨大であることには間違いない。

たばこの経済的メリットとされる税収については、2011年度の国と地方を合わせたたばこ税収が約2兆4千億円であり、国と地方の税収のそれぞれ約2.8%と約3.5%を占める。2010年2月発表の三菱総合研究所の研究では、たばこ1箱の価格を1,200円に引き上げると、消費量は71%減少するにもかかわらず、税収は約1兆6千億円増加すると予測されている<sup>17)</sup>。政策をパッケージ化し、増収分は影響を受ける業種への対策等にも使用できる。

ちなみに、米国の喫煙による年間コストは1,930億ドル以上（直接医療費960億ドル、生産性損失970億ドル）、受動喫煙の年間コストは100億ドル以上とされている<sup>18)</sup>。

また、住宅火災による死者数（放火自殺者等を除く）を発火源別に見ると、たばこが例年1位となっている。米国やEU等において義務化されている低延焼性たばこについて、我が国でも、生活環境（寝具類）を考慮した研究を踏まえ、導入が議論されている<sup>19)</sup>。

以上より、喫煙率の高い我が国では、健康および経済の両面で、たばこ問題は大きな損失を生み出していることがわかる。我が国は世界に冠たる長寿国である。しかしながら、都道府県別寿命は、最上位と最下位で、男性では3.6年の差があることから示唆されるように<sup>20)</sup>、健康寿命延伸の余地は大きいと考えられる（最下位県男性の喫煙率・飲酒率はともに第1位、歩数の少なさ・食塩摂取量は第2位<sup>21)</sup>であり、生活習慣の影響は大きいと考えられる。また他に、社会経済的状態も考慮する必要がある<sup>22)</sup>）。

## 4 高リスク群を同定し対処するための研究

### 4-1 社会経済的状態、健康状態

総合戦略の掲げる社会像には「健康格差を生まない社会」があるが、米国では、喫煙率の高い特定集団に注目し、その不利な状況の低減を図ろうという動きがある。2013年2月の米国疾病対策予防センター（Centers for Disease Control and Prevention：CDC）の報告によれば、2009-2011年に調査した13万8千人の米国成人（18歳以上）において、他の疾患、年齢、社会経済的状態、地域等の違いにより、喫煙率は大きく異なっていた<sup>23)</sup>（補足ファイル参照）。多重に健康上のリスクが高い人たちに対する喫煙者スクリーニングと禁煙治療提供等を提言している。

また、たばこ包装の警告写真のような、人種・民族、社会経済的状態が異なっても効果的<sup>24)</sup>な手段の研究も重要である。

我が国においても、従来の調査・研究<sup>21)、22)</sup>を発展させ、社会経済的状態・健康状態による多重リスクを特定し、特別不利な状況にある人にも届く効果的な手段の研究が望まれる。



## 4-2 遺伝的要因

遺伝的背景とたばこ関連リスクとの関係が明らかにされてきている。2010年のNature Geneticsに掲載された、合計すると14万人以上の遺伝子を解析した3つの研究から、喫煙行動や肺がんリスクと関連する遺伝子が見つかった<sup>25)</sup>。論文著者の一人は、喫煙のリスクが特別高い人たちを無理矢理にでも止めさせる理由になるとして、遺伝子診断を目指している。また、たばこ課税に反応しない特定の遺伝子型を持つ者の存在を示唆する研究もあり、こういった人たちにも奏功する代替政策手段の必要性を示している<sup>26)</sup>。

我が国においても、オミックス情報を活用して、場合によっては禁煙を強く促すような政策につなげる必要もあろう。より質の高い統合情報を得る大規模分子疫学コホート研究<sup>27)</sup>は、たばこ問題の解決にも活用できるであろう。

## 4-3 たばこ物質と摂取物質の複合影響

2013年の厚生労働省「たばこの健康影響評価専門委員会」でも話題にのぼったポロニウム210の有害性の大きさは、たばこ物質の影響を考える上で無視できないものとなってきている。毎日2箱の喫煙者が25年で肺に取り込む等価線量は、1,000人から毎年120-138人の肺がん死が発生することになる10 Sv前後にも達すると推計されている<sup>28)</sup>。

2013年5月には、我が国の45-74歳の男女約9万人を約11年間追跡し、食事からの総ヒ素・無機ヒ素（特にひじきに多い）摂取量とがん罹患との関

連を調べた研究の結果が発表された<sup>29)</sup>。男性では喫煙者で総ヒ素・無機ヒ素ともに肺がんリスクの上昇、非喫煙者では肺がんリスクの低下がみられた。

我が国で特に摂取量が多い食物中物質や環境化学物質との複合毒性の解明は未だ十分とは言えず、さらなる研究によるエビデンスの蓄積と総合的なリスク評価が必要である。

## 5 まとめと提言

新しい疫学研究によれば、健康長寿に与える喫煙の負の大きな影響は増大しており、禁煙の正の影響は劇的である。予後の改善効果が必ずしも大きくない治療に、総医療費の多くを投入していることを考慮すれば、少なくとも長期的には経済的にも大きくプラスとなる禁煙のための政策は、非常に大きな費用対効果を期待できる。たばこ依存症は、自発性や自助努力だけでの解決が困難な場合も多く、介入が必要となる場合が多い。問題の重要性を認識している先進諸国は、研究の成果を活かし、積極的な政策を実践している。

米国大規模コホート研究についてのNEJMの論評は、元オーストラリア保健・高齢化省大臣Roxonの次の言葉で結んでいる—「われわれは、行動しないことで人々を殺している」<sup>8)</sup>。総合戦略を形骸化しないためにも、このような精神は不可欠であろう。

我が国でも、効果的な政策のために、遺伝的背景や食習慣等の海外の成果を直接活用できない領域や他分野との相乗効果が期待できる研究を優先した、総合的なたばこ対策研究プログラム（図表1）が必要と考えられる。

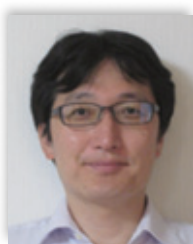
補足ファイル <http://www.nistep.go.jp/wp/wp-content/uploads/NISTEP-STT138-Supplement.pdf>

## 参考文献

- 1) “Estimates of funding for various research, condition, and disease categories (RCDC).” NIH 2013年4月：  
[http://report.nih.gov/categorical\\_spending.aspx](http://report.nih.gov/categorical_spending.aspx)
- 2) “WHO report on the global tobacco epidemic, 2013.” 2013年7月：  
[http://www.who.int/tobacco/global\\_report/2013/en/index.html](http://www.who.int/tobacco/global_report/2013/en/index.html)
- 3) The Lancet 2012 ; 380 : 2053-260. (16編)
- 4) Lim SS, et al. “A comparative risk assessment of burden of disease and injury attributable to 67 risk factors and risk factor clusters in 21 regions, 1990-2010 : a systematic analysis for the Global Burden of Disease Study 2010.” The

- Lancet 2012 ; 380 : 2224-60. (The Lancet 2013 ; 381 : 1276 に訂正の告示)
- 5) Ikeda N, et al. "Adult mortality attributable to preventable risk factors for non-communicable diseases and injuries in Japan : a comparative risk assessment." PLoS Medicine 2012 ; e1001160
  - 6) Jha P, et al. "21st-century hazards of smoking and benefits of cessation in the United States." The New England Journal of Medicine 2013 ; 368 : 341-50.
  - 7) Thun MJ, et al. "50-year trends in smoking-related mortality in the United States." The New England Journal of Medicine 2013 ; 368 : 351-64.
  - 8) Schroeder SA, "New evidence that cigarette smoking remains the most important health hazard." The New England Journal of Medicine 2013 ; 368 : 389-90.
  - 9) Pirie K, et al. "The 21st century hazards of smoking and benefits of stopping : a prospective study of one million women in the UK." The Lancet 2013 ; 381 : 133-41.
  - 10) Sakata R, et al. "Impact of smoking on mortality and life expectancy in Japanese smokers: a prospective cohort study." BMJ 2012 ; 345 : e7093.
  - 11) 『最新たばこ情報』厚生労働省 2013 年 3 月現在 : <http://www.health-net.or.jp/tobacco/front.html>
  - 12) "Health at a Glance 2011 : OECD Indicators" OECD 2011 年 11 月 : [http://dx.doi.org/10.1787/health\\_glance-2011-en](http://dx.doi.org/10.1787/health_glance-2011-en)
  - 13) 『エコチル調査 2 周年記念シンポジウム資料訂正版』環境省 2013 年 2 月 : <http://www.ecochil-fukushima.jp/news/details.php?id=65>
  - 14) Gaysina D, et al. "Maternal smoking during pregnancy and offspring conduct problems." JAMA Psychiatry doi : 10.1001/jamapsychiatry.2013.127 Published online July 24, 2013.
  - 15) 『禁煙政策のありかたに関する研究～喫煙によるコスト推計～』医療経済研究機構 2010 年 7 月 : <http://www.ihep.jp/publications/report/search.php?dl=26&i=1>
  - 16) 『喫煙と禁煙の経済影響に関する報告』厚生労働科学研究費補助金 平成 18 年度総括・分担研究報告書 2007 年 3 月 : <http://mhlw-grants.niph.go.jp/niph/search/NIST00.do>
  - 17) 平野公康ら『タバコ価格を引き上げた時の消費行動変化の見通し』三菱総合研究所 所報 2010 ; 52 : 90-96. [http://www.mri.co.jp/NEWS/magazine/journal/52/2016260\\_1694.html](http://www.mri.co.jp/NEWS/magazine/journal/52/2016260_1694.html)
  - 18) "Fast Facts." CDC 2013 年 6 月 : [http://www.cdc.gov/tobacco/data\\_statistics/fact\\_sheets/fast\\_facts/index.htm](http://www.cdc.gov/tobacco/data_statistics/fact_sheets/fast_facts/index.htm)
  - 19) 『たばこ火災被害の低減対策に関する検討会』総務省消防庁 2013 年 2 月 : [http://www.fdma.go.jp/neuter/about/shingi\\_kento/h24/tabakokasai\\_teigen/index.html](http://www.fdma.go.jp/neuter/about/shingi_kento/h24/tabakokasai_teigen/index.html)
  - 20) 『平成 22 年都道府県別生命表の概況』厚生労働省 2013 年 2 月 : <http://www.mhlw.go.jp/toukei/saikin/hw/life/tdfk10/>
  - 21) 『平成 22 年国民健康・栄養調査結果の概要』厚生労働省 2012 年 1 月 : <http://www.mhlw.go.jp/stf/houdou/2r98520000020qbb.html>
  - 22) 福田吉治ら『日本における「健康格差」研究の現状』保健医療科学\_健康格差の研究 2007 ; 56(2) 56-62.
  - 23) CDC "Vital signs: Current cigarette smoking among adults aged  $\geq 18$  years with mental illness — United States, 2009-2011." MMWR (Morbidity and Mortality Weekly Report) 2013 ; 62 : 81-7.
  - 24) Cantrell J, et al. "Impact of tobacco-related health warning labels across socioeconomic, race and ethnic groups : results from a randomized web-based experiment." PLoS One. 2013 ; 8(1) : e52206.
  - 25) Nature Genetics 2010 ; 42(5) : 366-368, 436-453 (4 編).
  - 26) Fletcher JM "Why have tobacco control policies stalled? Using genetic moderation to examine policy impacts." PLoS One 7(12) : e50576.
  - 27) 『ヒト生命情報統合研究の拠点構築—国民の健康の礎となる大規模コホート研究—』日本学術会議 2012 年 8 月 : <http://www.scj.go.jp/ja/info/kohyo/pdf/kohyo-22-t155-1.pdf>
  - 28) Karagueuzian HS, et al. "Cigarette smoke radioactivity and lung cancer risk." Nicotine Tob Res 2012 ; 14(1) : 79-90.
  - 29) Sawada N, et al. "Dietary arsenic intake and subsequent risk of cancer : the Japan Public Health Center-based (JPHC) Prospective Study." Cancer Causes Control 2013 ; 24 : 1403-1415.

..... 執筆者プロフィール .....



**本間 央之**

科学技術動向研究センター 特別研究員

博士(医学)。免疫やがんの創薬研究に従事し、2012年11月より現職。長年にわたり、生命・社会の自己組織化および‘disruptive innovation’（胚盤胞補完法による臓器作製、標的構造の制約や送達の限界を突破する創薬等）に関心を持つ。



## 各国の地球観測動向シリーズ(第3回)

# 中国の地球観測活動の方向性 —欧州から学び 地球観測応用範囲を拡大—

辻野 照久

## 概 要

中国では、大気汚染・水不足・都市化の進行・地盤沈下などの環境問題が深刻な事態になっており、総合国力充実のためにこれらの課題解決に役立つ地球観測活動に力を入れている。中国は、2011年版宇宙白書「中国的航天」の計画に沿って地球観測衛星の打上げや受信局の新設など宇宙インフラの整備を着実に進めている。また、欧州と共同で10年以上にわたって実施している龍計画により、政府関係の研究機関や大学が国土と環境・再生可能資源・海洋・災害・大気など幅広い分野で地球観測データを利用した研究を行っている。

**キーワード：**中国宇宙白書、地球観測衛星、リモートセンシング、龍計画、GEOSS

## 1 はじめに

中国の地球観測活動は多岐にわたっており、どのような機関がどのような目的で何を観測しているのかを把握することは最近まで容易ではなかった。現在は中国の各研究機関のウェブサイトや中国語版だけでなく英語版のコンテンツの整備が進み、公開情報から多くの手掛かりが得られるようになり、地球観測政策、地球観測衛星、受信設備、研究動向、応用状況などを知ることができるようになってきた。

中国の地球観測関連の活動状況は米国や欧州に比べればまだはるかに遅れていると見られるが、欧州の先端的な研究機関と共同で幅広いテーマに一举に取り組んでいる。2003年から開始された欧州と中国が共同で実施する龍計画（Dragon Programme、簡

体字は龙计划<sup>注1)</sup>）は、中国の多くの地球観測関連機関が参加し、世界で最も先進的な地球観測活動を行っている欧州のレベルに近付こうとしている。また、アクセスしやすい欧州の英文サイトから中国の地球観測活動に関する多くの情報が得られるようになった。中国が地球観測応用の範囲の拡大に力を入れていることは、我が国でも今後地球観測活動の成果を社会に応用していく上で参考になる。本稿では龍計画のプロジェクトを中心に、最近の中国の地球観測活動の方向性を分析する。

## 2 地球観測政策

中国の総合国力を高める上で、地球観測活動によ

注1 百度（Baidu）などの中国の検索エンジンで龍計画について検索する場合、「龍計劃」をキーワードにすると自動変換で「龙计划」となって適切なコンテンツが多数得られるが、「龍計画」をキーワードにすると「龙計画」と自動変換されほとんどヒットしない。

り得られた情報を農業・災害・大気・水資源・国土利用などの分野の社会的課題に応用することが有効であると中国政府は認識している。そうしたことから、地球観測衛星の開発および打上げや運用を実施することは中国では優先度の高い施策となっている。地球観測衛星の運用数は既にロシアやインドを凌駕し、米国と欧州に次ぐ規模になっている。

2011年に発表された「2011 中国的航天」<sup>1)</sup> (2011年版中国宇宙白書)によれば、中国は今後5年間に地球観測の応用面で、以下のような計画を策定している。

- ①衛星データ受信、処理、配信、応用などの地上施設を整備し、校正目標等の設備の設置を強化する。
- ②地球観測衛星から受信したデータの共有と総合的応用を強化し、宇宙データの自給率を向上し、市場指向型のデータ応用サービスに向けた社会資源の積極的な展開を牽引する。
- ③応用実証プロジェクトを実施し、地球観測衛星の幅広い応用と応用産業化の発展を促進する。

受信設備については、最近海南島に多数の衛星からデータを受信する施設が新設されるなどインフラ整備が進んでいる。

地球環境問題など科学研究の面では、2003年から開始された欧州宇宙機関 (ESA) と中国科学技術部 (MOST) / 国家遥感センター (NRSCC) が共同で実施する龍計画が注目される。龍計画第1期は16件のプロジェクトで開始されたが、2007年からの第2期では25件、2012年からの第3期では50件と急速に研究テーマを拡大している。第3期では、中国の74研究機関と欧州15か国97研究機関から700人以上の地球観測研究者が50件のプロジェクトに参加している<sup>2)</sup>。

日常の社会的利益に資する地球観測活動は気象・災害・森林・海洋などの管轄部門がそれぞれ担当

しており、どの分野においても定常運用に役立てる体制を一段と整備しようとしている。

## 3 地球観測衛星

中国は地球観測衛星を多種類、多数打ち上げており、大きく分けて陸域観測、海洋観測、大気 (気象) 観測などを分担している。累積打上げ数は10種類の衛星シリーズで74機、現在運用中の衛星数は38機程度と推測される。それぞれの主要な機能やこれまでの打上げ実績、現在運用中と思われる衛星数などを図表1に示す。

これらの衛星の中で、2008年に初号機が打ち上げられた極軌道気象観測衛星「風雲3号」は、米国の「NOAA」衛星や欧州の「MetOp」衛星と同等の観測機器を搭載しており、衛星システムとして技術的に高度なレベルにあると世界気象機関 (WMO) から高く評価されている。「風雲3号」の観測機器は、可視赤外放射計、赤外大気サウンダ、マイクロ波温度サウンダ、マイクロ波湿度サウンダ、中解像度スペクトラルイメージャ、太陽放射紫外線サウンダ、オゾン垂直観測器、マイクロ波放射イメージャ、大気観測干渉計、地球放射計測、宇宙環境モニタ、太陽輻射モニタの12種類に及ぶ。

その他の小型地球観測衛星は最新の高分解能衛星「高分」でもまだ空間分解能が2mであり、米欧日印が1m以下を競っている中では分解能では後れを取っているが、中国としては分解能との両立が難しい観測幅の広さを勘案すれば世界トップレベルの水準であるとしている。「高分」衛星は今後数

図表1 中国の地球観測衛星の打上げ数と運用 (2013年9月1日現在)

分野	衛星シリーズ名	ミッション	センサ	初号機打上げ年	打上げ数	運用数 (推定)
陸域	FSW	偵察	光学	1975	22	0
	CBERS	資源調査	光学	1999	3	3
	資源	資源調査	光学	2000	5	2
	遥感	国土利用	光学・SAR*	2006	23	20
	環境	環境監視	光学・SAR	2008	3	3
	天絵	立体地図作成	光学	2010	2	2
	高分	陸域観測	光学	2013	1	1
海洋	海洋	海洋観測	光学・SAR	2002	3	3
気象	風雲1・3	極軌道気象観測	光学	1988	6	2
	風雲2	静止気象観測	光学	1997	6	2
計					74	38

\* SAR = 合成開口レーダ

出典：COSPAR Information Bulletinなどを基に科学技術動向研究センターにて作成

機の打上げを予定している。

中国は自国の衛星画像を取得するだけでなく、米・欧・印・加などの政府衛星および商業衛星の直接受信や画像の購入なども必要に応じて行っている。欧州は今後打ち上げる「Sentinel」衛星を米国の衛星と同様にフリーアクセス（無料で利用可能）とすることを検討している。我が国のデータポリシーは明確ではなく、「ケース・バイ・ケース」の対応をしているのが現状である。

## 4 地球観測研究を実施する組織

中国において地球観測データを収集・解析し、それぞれの研究目的に応じた成果を得る活動を行っている組織は、科学技術部（MOST）・中国科学院（CAS）・各部（省に相当）の研究機関や大学などで、それぞれ多様なテーマで独自に研究を行っている。国務院に属する政府関係の主要な地球観測関連研究組織だけで15以上ある。それらの位置づけを図表2に示す。

以下に代表的な組織とその活動概要について述べる。

### 4-1 科学技術部：国家遥感センター

国家遥感センター（NRSCC）<sup>3)</sup>は、科学技術部に属する地球観測関連の研究機関である。各部（省）や地方政府など46の機関と連携している。また各

国政府間の地球観測組織である地球観測グループ（GEO）<sup>4)</sup>の中国事務局があり、地球観測衛星委員会（CEOS）<sup>5)</sup>のメンバー機関でもある。

### 4-2 中国科学院：遥感・数字地球研究院

中国科学院（CAS）傘下の遥感・数字地球研究院（リモートセンシング・デジタルアース：RADI）<sup>6)</sup>は、2012年11月に旧遥感応用研究所と旧対地観測・数字地球科学研究所が統合されて発足した。RADIは北京郊外の密雲、海南島の三亚、新疆のカシュガルに地球観測衛星地上局を設置し、中国の衛星だけでなく外国の衛星も含めて各国の地球観測衛星からの画像データを取得している。中国の受信局で直接受信している外国衛星は、米国の「Landsat」、仏「SPOT」、印「Resourcesat」、加「RADARSAT-2」などがある。

中国科学院にはRADIの他にも龍計画のいくつかのテーマを主導する研究機関が数か所ある。

### 4-3 国務院直轄事業単位および部に属する研究機関

(1) 中国科学院以外の国務院直轄事業単位に属する研究機関は次のようなものがある。

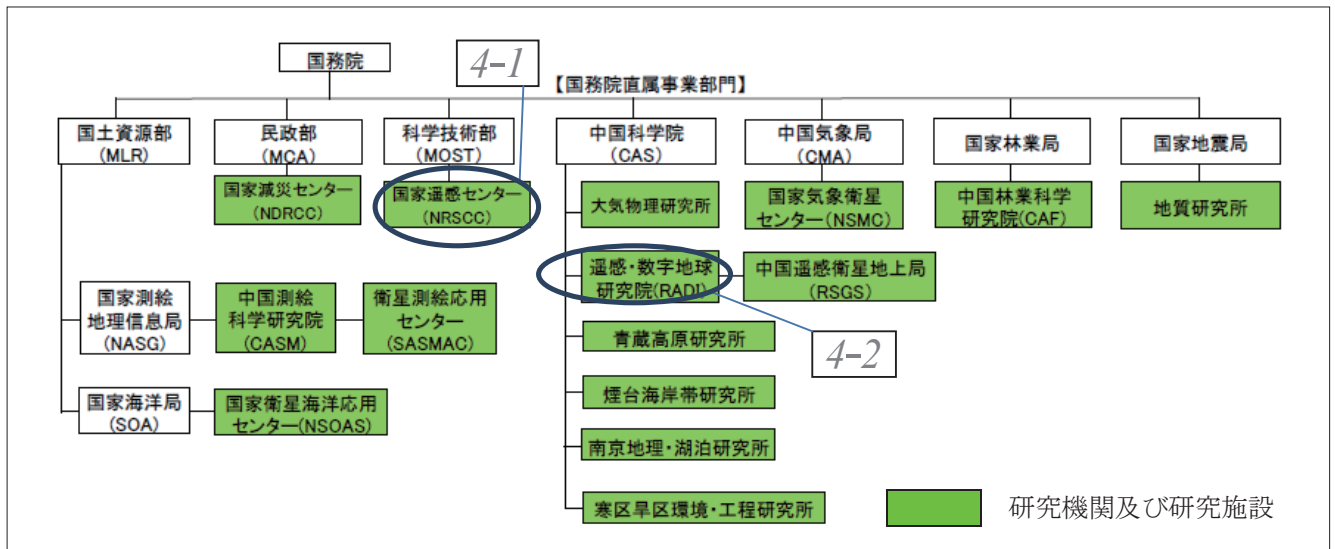
- 中国気象局（CMA）：国家衛星気象センター（NSMC）

気象観測の他宇宙天気の前報も行っている。

- 中国地震局：地質研究所

地震に関する観測データは空間対地観測デー

図表2 中国政府の地球観測関連組織



出典：各種資料を基に科学技術動向研究センターにて作成



タプラットフォーム (SEORC)<sup>7)</sup> に集約されている。

- 国家林業局：中国林業科学研究院 (CAF)  
森林管理や森林火災などの研究を行っている。
- (2) 部 (省に相当) に属する研究機関は次のようなものがある。
- 国土資源部国家海洋局 (SOA)：国家衛星海洋応用センター (NSOAS)  
海洋衛星を運用し、海色・災害・海岸帯の生態系などに関連する研究を行っている。
- 国土資源部国家測絵地理信息局 (NASG)：中国測絵科学研究院 (CASM)  
測絵とは、地図作成を意味する。地理情報システム (GIS) に関する研究を行っている。
- 民政部 (MCA)：国家減災センター (NDRCC)

## 4-4 教育部・龍計画に参加している大学

欧州と共同の龍計画に参加している大学に限って列挙すると、北京大学・首都師範大学・清華大学・南京大学・南京師範大学・武漢大学・華東師範大学・中国海洋大学・上海海洋大学などがある。いずれも教育部に属する大学である。研究だけでなく地球観測の人材を育成する教育機能も担っている。

## 4-5 地球観測活動をサポートする組織

観測データを加工してユーザに情報製品として提供する役割を官の時代から担ってきた中国資源衛星応用センター (CRESDA) は、CASC 傘下の専門企業となり、従業員の約半分を博士と修士が占める頭脳集団となっている。CRESDA は、「陸地観測衛星」(CBERS、資源衛星「ZY」および環境衛星「HJ」の総称) の観測データを用いて、農業、林業、測量、土地利用、生態系、資源、自然災害など各専門分野の研究者のために解析や地図化・ソリューションの提案などを行っている。

小型の地球観測衛星の製造は中国航天科技集团公司 (CASC) 傘下の中国空間技術研究院 (CAST) に属する航天東方紅衛星有限公司が受注している。

# 5 欧州と共同で実施する 第3期龍計画

## 5-1 第3期龍計画の概要

中国の科学技術部 (MOST) は欧州宇宙機関 (ESA) との協力により、世界各国の地球観測データを利用した解析や応用研究を行うための龍計画 (Dragon Programme) を 2003 年に開始し現在も継続中である。ESA は主に環境監視衛星「Envisat」のデータを提供し、中国も自国の衛星のデータを利用し、さらに第3国 (日本も含む) の衛星の観測データも利用している。

2008 年から開始された第2期龍計画では 25 件のプロジェクトが実施され、2012 年に完了した。第2期までの成功を受けて同年から開始された第3期龍計画では、プロジェクト数が2倍の 50 件に拡大された<sup>8)</sup>。50 件のプロジェクトはすべて中国の研究機関と欧州の研究機関が対をなして共同研究を行うもので、研究テーマは概ね「複数システムよりなる全球地球観測システム (GEOSS = Global Earth Observation System of Systems) 10 年実施計画 (2005-2015 年)」の9つの公共的利益分野 (災害、健康、エネルギー、気候、水、気象、生態系、農業、生物多様性) のいずれかに対応しているものが多い。ただし、解析手法や校正方法など、観測データを直接応用するのではなく、分析技術を追究するテーマもある。図表3に分野ごとの件数と関係するおもな研究機関を示す。

これまでに実施された第2期までの龍計画により、中国の大気汚染の監視、森林火災の早期発見、水資源管理、生態系観測などで一定の成果が得られており、第3期でさらに砂漠化・感染症・地盤沈下・測地など研究対象が拡大されている。中国の第12次5カ年計画の最後の年が GEOSS10 年実施計画の最終年と同じであることから、3年後の成果が注目される。

## 5-2 第3期龍計画のプロジェクト例

### 5-2-1 「国土と環境」分野のプロジェクト例

ギリシャのアテネ大学と中国の研究者が主研究者 (PI=Principal Investigator) となって実施している都市計画の管理に関する地球観測データの応用研究は、龍計画の第1期から第3期まで継続し

図表3 第3期龍計画の関係組織

分野	件数	サブエリア	関係する主な研究機関
国土と環境	6	都市問題	清華大学、北京師範大学、中国測絵科学研究所
		森林	中国林業科学研究所
		伝染病監視	中国科学院光電研究所
再生可能資源	6	農業資源	国家農業信息化工程技術研究中心、中国科学院遥感・数字地球研究所、中国気象局国家衛星気象中心
		森林資源	中国測絵科学研究所
海洋学	4		国家海洋局第二海洋研究所、中国海洋大学
沿岸	6	河口・近海	国家海洋局第一海洋研究所、中国科学院南海海洋研究所
		生態系	中国科学院煙台海岸帯研究所、華東師範大学
氷	4	海水	国家海洋局第一海洋研究所
		氷河	南京師範大学、南京大学、香港中文大学太空・地球信息科学研究所
水文	4	水循環	中国科学院寒区旱区環境・工程研究所
		水害	中国科学院遥感・数字地球研究所
災害	6	地滑り	中国科学院遥感・数字地球研究所
		地震	中国地震局地質研究所
大気	6	大気	南京大学気候・全球変化研究所、中国科学院南京地理・湖泊研究所
測量	1	測量	中国測絵科学研究所
気候	1	気候	中国科学院青蔵高原研究所
地震学	1	地震学	中国地震局地質研究所
その他	5	測地学、較正など	

出典：参考文献8に基づき科学技術動向研究センターにて作成

て行われている。

第1期はスポーツイベント支援のための地球観測、第2期は主なスポーツイベントサポートにおける地球観測の利用：アテネ、北京、ロンドンオリンピックのケーススタディ、第3期は多元的な地球観測データに基づく北京の水害監視と評価（英語版は「MONITOR」<sup>9)</sup>と推移している。この期間は図表4に示すようにちょうど欧州と中国で3回のオリンピックが開催された年が含まれる。

欧州側の研究者はアテネ大学で一貫しており、都市問題を扱うテーマは少ないので、興味深い研究となっている。利用した衛星はESAのEnvisatで、龍計画では多くの計画でこの衛星の観測データが利用された。Envisatは2012年に運用終了となったが、過去の蓄積データや中国および外国の衛星データを利用して研究が継続されていると考えられる。

中国の論文誌<sup>10)</sup>によれば、オリンピック大会が

行われる都市において都市構造にどのような状況変化があったかを調べるのが重要であり、このプロジェクトを通じて①生活の質の指標の定義と評価、②空気の質（空気中の塵埃）、③都市の気候（熱的快適性を含む）、④変化の測定、などの研究を行ったとのことである。

1 kmの分解能を持つ空気の質を予測するシステム（AMFIC=Air quality Monitoring and Forecasting In China）が開発され、2008年の北京オリンピック時の排出削減効果を調査した結果が第2期の中間報告（2010年発表）に公表されている。

大気モデルからの理論値と衛星観測データを比較することにより、オリンピック期間中に北京では大気汚染が約65%削減され中国の空気汚染管理の努力が成功したことが示された。

第3期龍計画では研究テーマが「MONITOR」となり、都市計画に対する地球観測データの利用という観点では継続性があるが、オリンピックとの関連

図表4 オリンピックと龍計画の時期的関係

オリンピック開催年		2004	2008	2012
オリンピック開催都市		アテネ	北京	ロンドン
龍計画	フェーズ	第1期	第2期	第3期
	開始年	2003年	2008年	2012年
プロジェクト数		16件	25件	50件

出典：参考文献8に基づき科学技術動向研究センターにて作成

はみられない。北京の水害を対象として地球観測データによる監視と評価を行う計画である。

## 5-2-2 「再生可能資源」分野のプロジェクト例

中国語で「再生可能資源」は「再生能源（再生可能エネルギー）」とは異なり、太陽エネルギーによる作物生育や水循環などがもたらす資源を指し、端的に言えば食糧資源である。GEOSS の農業分野に相当する。この分野の事例として、「地表の生物物理学的変数と地球観測データによる穀物生育見積り<sup>11)</sup>」を取り上げる。この「穀物生育見積り」というテーマの中心となるシステムは、旧遙感応用研究所（IRSA、現遙感・数字地球研究院（RADI））が30年以上前から開発をスタートし、15年前から運用している地球観測データによる「CropWatch」<sup>12)</sup>である。このテーマで利用される地球観測画像は、米国の Terra および Aqua に搭載されている MODIS である。欧州側の PI はベルギー技術研究所の研究者である。

旧遙感応用研究所は1998年に中国版「CropWatch」システムを開発した。現在、中国版「CropWatch」は作物の生育モニタリングや穀物生産量の推定などのサービスを提供し、その監視範囲は、中国だけでなく世界46か国をカバーしている。

地表の生物物理学的変数として葉面積指数（LAI）、地表反照率（アルベド）、地表放射率、短波輻射、光合成有効輻射（PAR）の5つがある。フランス気象局の研究者は双方向反射率分布関数（BRDF）を用いてアルベドの決定や生物物理学的変数の取得の手法を中国側研究者に教えたことと見られる。中国は欧州のさまざまなプログラムに参加することで、LAI や PAR などの測定値の収集と分析の専門知識を得たという。

中国の穀物生産は13億人の国民に行き渡る量を毎年確保しており、若干の経済作物の輸出入を除けば自給自足の体制を整えている。その裏方として、地球観測の研究者が欧州の経験や知識を取り入れて自国の小康社会確立に向けて貢献していることが窺える。

## 5-2-3 「大気」分野のプロジェクト例

「大気」分野のプロジェクト例として「東アジアの夏季モンスーンが中国の大気の質に及ぼす影響<sup>13)</sup>」を取り上げる。中国側 PI は南京大学気候・全球変化研究院、欧州側 PI はドイツ航空宇宙センター（DLR）の研究者である。利用する衛星搭載機器は ESA の環境監視衛星「Envisat」の GOME、SCIAMACHY、GOME-2、IASI、GOMOS、MIPAS、MOPITT などであるが、同衛星が2012年に運用を終了したこ

とにより、過去の蓄積データによる分析となるかもしれない。

東アジアのモンスーンは、空気の対流や降水量に影響を与える大気活動であり、大気汚染に対して重要な作用をしていることが判明している。アジアの発展途上国において最も重要な環境問題の一つである。

この研究に必要なデータはオゾンゾンデや航空機などによる現場観測だけでは十分な空間的カバレッジや長期間の一貫したデータ取得を確保することはできない。このプロジェクトでは、衛星データを現場観測で得られたデータと組み合わせて、対流圏の大気汚染物質に対するモンスーンの影響を分析することを試みた。本研究の PI らは、対流圏オゾンや CO、オゾンの前駆物（NO<sub>x</sub>、HCHO と CH<sub>4</sub>）およびその他の関連する微量ガスを分析するために衛星搭載機器（GOME 等）の観測データを適用している。全球化学輸送モデル「MOZART-4」は、モンスーンの影響をシミュレートするために使用され、人工衛星の測定値と比較された。中国全土の大気汚染物質の潜在的な影響もモデリング・現場観測・衛星データの組み合わせで調査が行われている。

## 5-3 龍計画の分野と GEOSS の公共的利益分野との対応関係

第3期龍計画の50件のプロジェクトを研究テーマの内容的に GEOSS のどの公共的利益分野に相当するかを考察し、分野別にまとめた結果を図表5に示す。

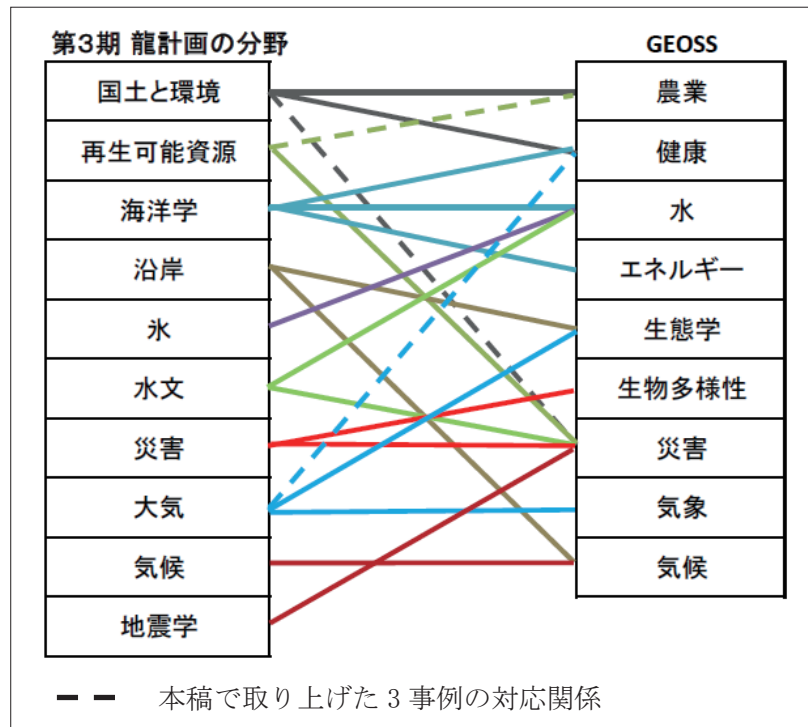
## 6 おわりに

中国は3期にわたる龍計画を通じて欧州の地球観測活動から多くのことを学ぼうとしており、関係する研究機関や現業機関が衛星データの利用や現場観測との連携を通じて社会的に役立つ観測システムを構築しようとしていることが窺える。

実際の課題として中国の大気汚染・水不足・都市化の進行に伴う農地の減少・産業化に伴う地盤沈下など、先進国が経験してきたと同様の環境問題に直面している。特に、北京オリンピック開催当時の大気清浄化の努力にもかかわらず、近年中国では PM2.5 の問題が惹起している。第2期龍計画の研



図表5 龍計画の分野と GEOSS の公共的利益分野との対応関係



出典：参考文献8に基づき科学技術動向研究センターにて作成

究成果を一時的なものとし、今後の大気汚染対策に活用することを期待したい。中国の地球観測活動

がこれらの課題の解決にどのように役立っていくのか、注目に値する。

## 参考文献

- 1) China's Space Activities in 2011 : <http://en.cmse.gov.cn/show.php?contentid=1139> (2011 中国的航天の英語版)
- 2) 中欧科技“龍計画”：遥感科技合作进入新阶段 中国日報、2012年7月2日：  
[http://www.chinadaily.com.cn/micro-reading/dzh/2012-07-02/content\\_6327750.html](http://www.chinadaily.com.cn/micro-reading/dzh/2012-07-02/content_6327750.html)
- 3) 国家遥感センターのウェブサイト：<http://www.nrscc.gov.cn/nrscc/en/functions/index.html>
- 4) GEO のウェブサイト：<http://www.earthobservations.org/index.shtml>
- 5) CEOS のウェブサイト：<http://www.ceos.org/>
- 6) リモセン・デジタルアース研究所のウェブサイト：<http://www.radi.cas.cn/>
- 7) 空間対地観測データプラットフォームのウェブサイト：<http://www.neis.org.cn/chinsoftdmds/kjdd/index.jhtml>
- 8) ESA のウェブサイト「ESA-MOST Dragon 3 Cooperation Programme」：  
<https://dragon3.esa.int/web/dragon-3/home>
- 9) MONITOR [https://dragon3.esa.int/c/document\\_library/get\\_file?folderId=158538&name=DLFE-1842.pdf](https://dragon3.esa.int/c/document_library/get_file?folderId=158538&name=DLFE-1842.pdf)
- 10) 科学研究動態監測快報、中国科学院国家科学図書館蘭州分館、2009年1月
- 11) Land Surface Biophysical Variables and Crop Production Estimation from Remote Sensing Data  
<https://dragon3.esa.int/documents/163802/194202/10605-ES.pdf/e5756a0d-252c-4ba8-bb2f-84a1f80b5d11?version=1.1>
- 12) China's CropWatch : <http://www.cropwatch.com.cn/en/>
- 13) Assessment of the Impact of The East Asian Summer Monsoon on the Air Quality Over China :  
<https://dragon3.esa.int/documents/10174/158538/10455-EastAsia.pdf/30718ec0-43f5-445f-9251-ca98f5815b53?version=1.0>

..... 執筆者プロフィール .....



**辻野 照久**

科学技術動向研究センター 客員研究官

<http://members.jcom.home.ne.jp/ttsujino/space/sub03.htm>

専門は電気工学。旧国鉄で新幹線の運転管理、旧宇宙開発事業団で世界の宇宙開発動向調査などに従事。現在は宇宙航空研究開発機構（JAXA）調査国際部調査分析課特任担当役、科学技術振興機構（JST）研究開発戦略センター特任フェローも兼ねる。趣味は全世界の切手収集。中国切手は大清国の時代から 10,000 種類以上を保有。