

Science & Technology Trends

科学技術動向

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

6

2010
No.111



レポート

p2.10

「所有から利用へ」の世界を支える
クラウド・コンピューティングの可能性

p3.22

AAAS 科学技術政策年次フォーラム(2010)報告

トピックス

ライフサイエンス分野

p4

全ゲノム情報を基にした
個別化医療へのアプローチ

ナノテク・材料分野

p6

イオン濃度分極効果を利用した
高効率の海水淡水化チップ

社会基盤分野

p8

大雨等の警報・注意報を
市町村単位で発表開始

情報通信分野

p5

共鳴型無線電力伝送の研究が
活発化

エネルギー分野

p7

日本の気候に適応した
洋上風力発電の実証研究

ものづくり分野

p9

コンタクトレンズ型MEMS眼圧センサ

「所有から利用へ」の世界を支える クラウド・コンピューティングの可能性

クラウド・コンピューティングは、各種の計算、情報通信処理を、手元の計算装置ではなくネットワークの向こうのクラウドセンターにある計算資源を使って行い、手元の端末に表示する一連の情報処理のことを指す。

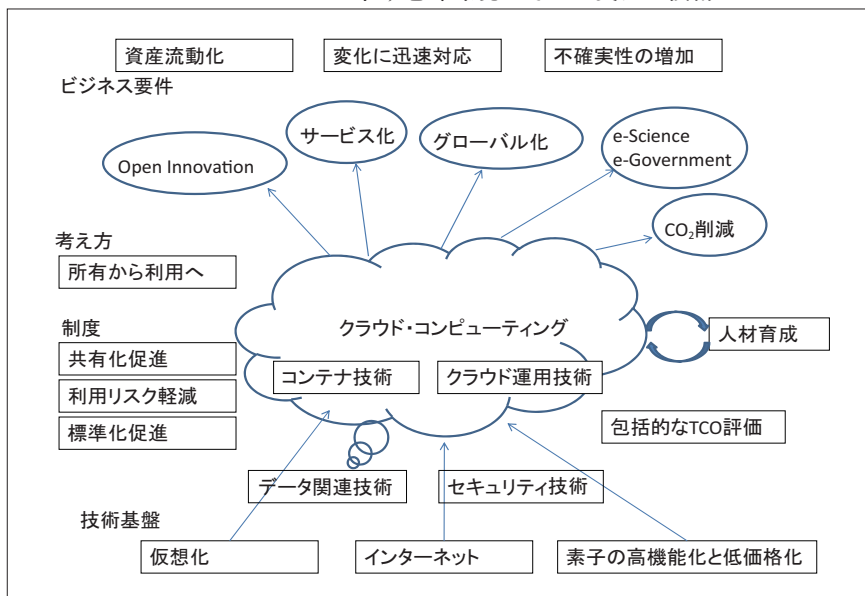
クラウドの提供するサービスはハードウェア、ソフトウェア、プログラマ向けの開発環境に対応するものがある。特徴としては、計算資源の拡張性・柔軟性、また従量制課金による初期投資が不要であることや、メンテナンスやバージョンアップなど煩雑な作業からのユーザーの解放、などがあげられる。

クラウドの真に革新的な点は、「所有から利用へ」という情報処理エンジンのパラダイムシフトにある。特にビジネスにおいては、情報処理インフラが、従来の専有形態のシステムから、クラウド上の共有利用形態に移り、ビジネスプロセスにも変革を起こす。それに伴って全産業にわたって産業構造の変革をもたらす可能性がある。

現時点で、日本には世界に並ぶクラウド・センターがまだ存在しておらず、クラウドを活用したICTサービス産業の育成や、人材育成、またクラウドにより社会・経済を変革できる人材の育成が急務となっている。

クラウドは、社会的な影響、産業一般に対する影響が大きいいため、情報産業界の受け止め方も、大きな期待と不安に満ちたものとなっている。しかし、このビジネスモデルの大幅な変革が、我が国の情報通信産業にとって大きな転機となる。

クラウド・コンピューティングを取り巻く環境とそれを支える技術



科学技術動向研究センターにて作成

AAAS 科学技術政策年次フォーラム (2010) 報告

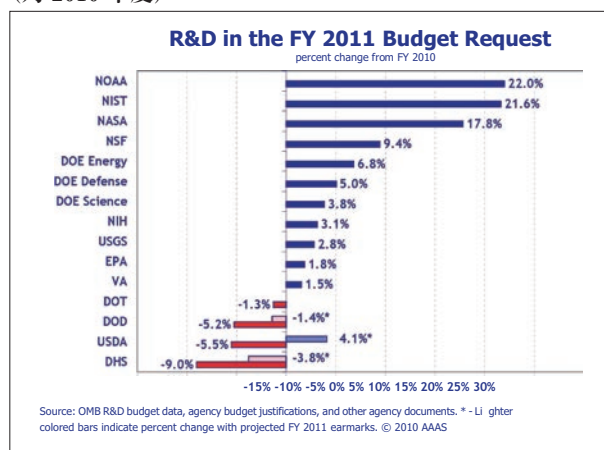
2010 年 5 月 13 ～ 14 日、ワシントン DC にて、全米科学振興協会 (AAAS) の科学技術政策年次フォーラムが開催された。本フォーラムは、科学コミュニティや大学等の研究機関が直面する政策的課題や、次年度の連邦政府予算要求、その他の重点課題をテーマに、関係者の議論の機会の提供を目的に毎年開催されている。35 回目となった今回のフォーラムでは、2011 年度研究開発予算要求とその政策的背景に加え、「米国がイノベーションでリーダーであるためにどうすべきか」、「科学技術の社会的インパクトをどう捉えるか」、「国の安全保障問題に科学技術はどのような役割を有するか」等について議論が交わされた。

基調講演は、昨年に引き続き John Holdren 科学技術担当大統領補佐官が行った。オバマ大統領の見解として、国内や地球規模の政策課題に対して科学技術は最も中心的存在であり、「実用化」目的だけではなく横断的な科学技術基盤の強化を目指す必要がある。課題解決には政府内の関係部局間、官民、さらに他国を含めてのパートナーシップが必要であることを強調した。また、オバマ政権がこれまで積極的に取り組んでいる重要課題を概観した。景気刺激策以降の科学技術に対する一貫した重点的予算の措置、そして 2009 年 9 月公表の米国イノベーション戦略について基礎的研究と科学・技術・工学・数学 (STEM) 教育を基盤的構成要素と位置付け、イノベーション創出のための競争的市場の促進と、国の優先課題をブレークスルーするための触媒作用を戦略の柱とし、教育の質を高める具体的取組等を挙げた。気候変動問題では、費用対効果を強調しつつ「経済に相対するエネルギー・気候政策」ではなく「経済のためのエネルギー・気候政策」の認識で戦略を進めていると述べた。

2011 年度研究開発予算要求は、総額 1481 億ドルで対前年度 0.3% 減だが、海洋大気局 (NOAA)、国立標準技術研究所 (NIST)、航空宇宙局 (NASA) で的大幅増額をはじめとして多くの省庁で増額し、性格別では基礎研究で 4.3% 増、非軍事研究関係では 5.9% 増となった。一方で、大幅な財政赤字で蓄積する累積国債残高の打開も問題提起された。

今回の特徴として、オバマ政権では科学技術への投資に最大の配慮がなされてきたが、その効果や、政策的・社会的問題に対して科学技術が担う役割に対する説明責任の捉え方、足下を固めながら今後どのように舵を切っていくかを模索する議論となっているように見受けられた。また、米国では依然として特に初等・中等段階での教育の質の向上が大きな課題となっており、今回のフォーラムの議論の中でも、科学コミュニティの積極的な参加も得ながらの政府の取り組みが窺われた。

2011 会計年度研究開発予算要求の省庁別変化比率
(対 2010 年度)



出典：Patrick J Clemens 氏 (AAAS) 講演スライド

超高速シーケンサーの進歩により、ヒトの全ゲノム情報の解読が容易になり、医療の基礎情報として利用することが現実味を帯びてきた。米国 Stanford 大学を中心とする研究チームは、一人の健康な男性の全ゲノム情報を解読し、心血管系や関節の疾患等のリスクや薬剤への応答性等について予測した結果を The Lancet 誌に報告している。家族歴のある疾患や、家族歴のない疾患関連についてもさまざまな多型を見出したほか、薬剤への応答性に関与する遺伝子にも新規な多型を見出した。全ゲノム解析の利点は、既存の特定の多型だけでなく、稀な多型や新規な多型を見出すとともに解析できる点にある。今後解読がさらに容易にできるようになり、また多型と疾患との関連に関する知見が蓄積されれば、個人の遺伝子情報の特徴に即した疾患の治療や予防、より適切な種類や量の薬剤の投与などが可能になると期待される。

トピックス / 全ゲノム情報を基にした個別化医療へのアプローチ

遺伝情報などを基に、各個人の個性に合った医療を行うことを個別化医療、あるいはオーダーメイド医療と呼ぶ。各個人の遺伝情報から、ある薬剤の有効性や、副作用の可能性等も推定できれば、無用な投薬を抑制できる。また遺伝情報から特定の疾患にかかる可能性が高い/低いといった予想ができれば、疾患の予防にも期待が持たれる。これまでは特定の塩基多型等の情報による試みが多く行われてきた。これに対し、近年は次世代シーケンサーと呼ばれる超高速の遺伝子情報解析装置が開発されて大幅なコストダウンと時間の短縮がなされたため、各個人の全ゲノム情報を解読し、医療の基礎情報として利用することが現実味を帯びてきた。

米国 Stanford 大学を中心とする研究チームは、一人の健康な男性の全ゲノム情報を解読し、疾患へのかかり易さや薬剤への応答性等について予測した結果を The Lancet 誌に報告している。この男性は40歳で、親族には心血管障害や突然死の記録があるが、本人は至って健康で、臨床所見も正常範囲内にあった。超高速シーケンサーにより全ゲノム配列を解読し、種々のゲノム情報と疾患のデータベースと照合を行った。結果、家族歴のある心臓病関連では、心臓の突然死に関わる3つの遺伝子にそれぞれ稀な多型を見出した。また変形性関節症に関わる遺伝子の多型が認められ、これは家族歴があると同時に、本人も膝に痛みがあると述べている。また家族歴のない疾患関連では、鉄の過剰蓄積に関わる2つの遺伝子に新規な多型が認められ、また副甲状腺の機能や発がんに関わる遺伝子

に多型が見出された。

一方で薬剤への応答性に関与する遺伝子にも6つの新規な多型を見出した。これらの多型からは特定の薬剤に対する応答性が良い、あるいは悪いという推定が可能のため、適切な投与量を設定できるという利点が想定できる。

これまでも多種の多型と疾患リスクについての報告があるが、単一の多型の影響はさほど大きくはなく、複数の多型の組み合わせによりその疾患リスクの程度が決まる。本報告では、得られたゲノム情報を既存の危険因子の情報と統合評価したところ、55の疾患のうち、8つの疾患についてはリスクが上がり、7つについては下がるという結論を得た。

全ゲノム解析の利点は、既存の特定の多型だけでなく、これまで知られていないような稀な多型や新規な多型を見出すとともに、それらを解析できる点にある。今後全ゲノム情報がさらに容易に解読できるようになり、また多型と疾患との関連に関する知見が蓄積されれば、疾患に対するリスクや薬剤への応答性がより明確に推定できるようになる。これは治療や予防上のメリットとともに薬剤費の抑制にも貢献する。一方で、良くも悪くも全てのゲノム情報が明らかにされるため、患者本人に知らせる場合にはカウンセリングも含め、慎重な対応が必要になる。

本報告はまだ基礎的な段階であるが、今後より詳細な解析がなされ、また新たな情報を統合することにより、より信頼性の高い予測が可能になるものと考えられる。

参 考

- 1) Euan A. Ashley et al. "Clinical assessment incorporating a personal genome" The Lancet, Volume 375, Issue 9725, Pages 1525-1535, 1 May 2010

新たな無線電力伝送方式として、共鳴型無線電力伝送の研究が活発化している。共鳴型は送電距離を電磁誘導型より延ばせるが、高効率で伝送するには微妙な共鳴条件設定を必要とし、その設定を保持させるための工夫が研究開発のポイントになる。2007年6月にマサチューセッツ工科大学が2m離れた直径60cmのコイル間で、40%の伝送効率で送電し60Wの電球を点灯するデモを行ったあと、世界中で実証実験が続いていた。2010年3月16～19日に開催された電子情報通信学会の総合大会では、昨年まではゼロであった同技術に関する発表が9件に増えている。これらの発表では、設計法の提案や送電効率を高めるための提案などが行われ、模型ヘリコプターへ電力伝送を行うデモ飛行などの具体化も進んでいる。

トピックス 2 共鳴型無線電力伝送の研究が活発化

新たな無線電力伝送方式として、共鳴型無線電力伝送の研究が活発化している。共鳴型は、2007年6月にScience Expressに掲載されたマサチューセッツ工科大学の技術がオリジナルである¹⁾。同大学は9.9MHzで電力回路を共鳴させて、2m離れた直径60cmのコイル間で40%の伝送効率で送電するデモを発表し、60Wの電球を点灯させて見せた(図表1)。その後、Intel社が2008年に送電のデモを行い、Qualcomm社は2009年にワイヤレス充電のデモを行うなど、実証実験が続いていた。日本でも実証実験が行われ、2010年3月16～19日の日程で開催された電子情報通信学会の総合大会では、昨年までの大会ではゼロであった同技術に関する発表が9件に増えている。

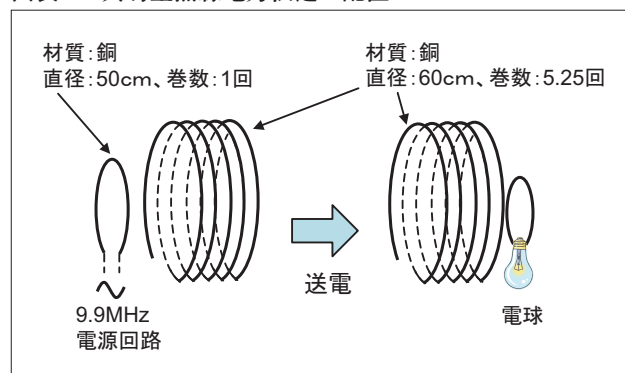
無線電力伝送に係る従来技術としては、送受信のコイル間を近接させることで両者の電磁結合を強くし、送電の効率を高める電磁誘導型や、遠方に電磁波のビームを絞り込んで放射し、その放射ビームを受信することでの電力伝送を行うマイクロ波ビーム型などがあり、それぞれの特徴を生かした利用が考えられている(図表2)。

共鳴型無線電力伝送による送電距離は、マイクロ波ビーム型には及ばないものの、電磁誘導型よりも伝送距離を延ばせるため、モバイル機器や電気自動車への応用が考えられている。マイクロ波ビーム型はアンテナを使い、遠方に電磁波を放射するように設計されてきたが、共鳴型は逆に、できるだけ遠方には放射しないように設計して送電装置(コイル)の周辺に電磁エネルギーを保持させる。受電側では、この保持されたエネルギーを損失なく効率よく受け取れるように、送電側と同じ周波数で共鳴を起こすコイルを配置する。こうすることで、電磁エネルギーを移送でき、共鳴した相手だ

けに電力送電を行う。この時、高効率で電力伝送を行うために、微妙な共鳴条件を必要とする。この条件を設定・保持すること、コイル間の位置、向きなどを設定することが、研究・開発の重要なポイントになる。

今回の電子情報通信学会での発表は、送電の効率を高めるための提案や、送受電のコイルレイアウトに自由度を持たせる提案のほか、電力伝送装置の設計方法やそのための等価回路の提案がなされた。また、模型ヘリコプターへ電力伝送を行うデモ飛行や、電子機器に組み込むことを想定した実験結果の発表などもあり、同方式の基礎的な研究だけでなく、具体化も進んでいることが窺われる。

図表1 共鳴型無線電力伝送の配置



参考文献¹⁾を基に科学技術動向研究センターにて作成

図表2 電磁波利用の無線電力伝送方式の比較

方 式	伝送距離	伝送電力	利用機器の一例
電磁誘導型 (すでに製品化)	極近距離(密着)	小～大電力	コードレスホン、ICカード、 モーター機器(家電、自動車)
共鳴型	数十cm～数m	小～中電力	モバイル機器、電気自動車
マイクロ波ビーム型	遠距離	中～大電力	宇宙発電の送電
レーザービーム型	近距離～遠距離		無人探査機、小型飛行機

参考文献²⁾を基に科学技術動向研究センターにて作成

参 考

- 1) A.Kurs, et al. "Wiress Power Transfer via Strongly Coupled Magnetic Resonances" Science Express, Vol.317, pp.83-86, 6 July 2007
- 2) 小紫ほか「ワイヤレス・エネルギー伝送技術」電気学会誌 特集 Vol.129, No.7, 2009年

2010年4月、米国と韓国の共同研究グループは、イオン濃度分極効果を用いた高効率の海水淡水化技術の原理を確認したと発表した。イオン濃度分極効果によって、幅が数 nm 程度の微小なイオン選択透過性の流路でイオンを溶かした水溶液を隔てて電圧を加えると、流路の片側の出口近傍ではイオンが排斥され、淡水が採取できる。一般に用いられている逆浸透法などの淡水化技術では、効率を高くするためには大規模な設備を用意しなければならない。今回開発された方法では、逆浸透法と同程度の効率を小さなチップ内で実現できる。災害地・僻地・個人用などの小型で移動式の高効率淡水化処理設備の実現が期待される。

トピックス 3 イオン濃度分極効果を利用した高効率の海水淡水化チップ

2010年4月、米国のMITと韓国の浦項工科大の共同研究グループは、イオン濃度分極(ICP)効果を用いた高効率の海水淡水化技術の原理確認に成功したと発表した。ICP効果によって、正または負のイオンを選択的に透過する、幅が数 nm 程度の流路(ナノチャネル)によりイオンを含む水溶液を隔て、ナノチャネルをはさむ溶液に電圧を加えると、ナノチャネルの片方の出口近傍にイオンが排斥された領域ができる。今回の発表では、ナノチャネルの片側に海水を流しながら海水とナノチャネルに電圧を加えて ICP 効果を生じさせ、ナノチャネル近傍のイオンが排斥された領域から淡水を採取した。

今回用いた淡水化装置は、シリコン樹脂(PDMS)上に形成した液体溜めと流路をイオン選択透過膜のNafion[®]で結合し(図表参照)、ガラスの蓋を接着したものである。流路の後方は二股に分岐している。Nafion[®]内には正イオンを選択的に透過する直径5nm程度の多数のポアがあり、これがナノチャネルになる。液体溜めと海水に電圧を加えると、ナノチャネルの海水側近傍にイオンが排斥された領域ができる。この部分から淡水を分離採取できる。流路の大きさは、大きいもので幅が500 μ m、深さが100 μ m程度である。

実験では、弱アルカリ性にすることでCaの沈殿やごみなどを取り除いた海水に、30Vの電圧を加え、約20 μ l/分の流量を流した。得られた淡水中の食塩濃度は120mg/lであり、飲用に適するとされている600mg/lという基準より低濃度であった。

この方法では分離膜を用いないため、目詰まり等の障害が発生しにくい。また、有機物などであっても帯電した粒子が取り除ける。実験では、海水にあらかじめポリマー微粒子、蛍光性蛋白などを加えていたが、それらはその他のイオンと同様に排斥され、採取した

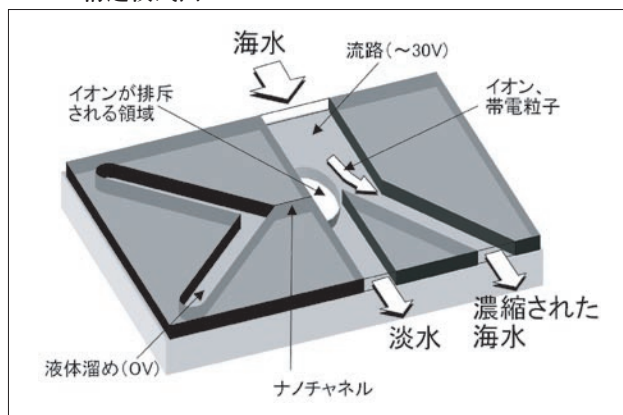
淡水中には含まれていないことが確認された。

今回発表された方法の効率は $\sim 5\text{Wh/l}$ と高く、現在海水淡水化方法として一般的な逆浸透法($\sim 5\text{Wh/l}$)とほぼ同程度で、電気透析法($> 10\text{Wh/l}$)よりも優れている。

逆浸透法は数10気圧の圧力を海水に加えるため大掛かりな設備が必要であり、小さい規模の設備では淡水化の効率が低下する。逆浸透膜の目詰まり対策も必要である。一方、今回のICP効果を用いた方法では、設備の基本は数mm程度の小さなチップで、設備の規模は用いるチップの数で調整できるため、規模によらず高い効率が実現できる。この研究グループは、多数のチップを8インチの基板上に集積して形成すれば0.3l/分の処理が可能と試算している。周辺機器も簡単なものですむことから、災害地・僻地・個人用などの小型で移動式の高効率淡水化処理設備の実現が期待される。

(Nafion[®]は、米国Du Pont社の登録商標)

図表 イオン濃度分極効果による海水淡水化チップの構造模式図



参考文献¹⁾を基に科学技術動向研究センターにて作成

参考

- 1) S. J. Kim et al., "Direct seawater desalination by ion concentration polarization", Nature Nanotech., Vol. 5, 297, (2010)

(独)新エネルギー・産業技術総合開発機構と東京電力(株)は共同で、洋上風力発電の実証研究を始めると発表した。洋上風力発電は、陸上に比べ安定した風力が得られることから欧州では盛んに進められているが、我が国でも「2020 年を見据えた海洋国家成長戦略」¹⁾の中での開発・普及を進めるとしている。この実証研究は、2010 年 6 月から 2014 年 3 月まで実施され、2011 年度に千葉県銚子沖に高さ 130m・ローター直径 90m・出力 2,000kW の日本最大級の風力発電設備を設置する。実証研究により、台風などの自然災害が多く、洋上風力発電に適した遠浅海域の少ない日本の自然環境に適した設計・施工方法、運転保守方法などの設計指針を確立するとともに、環境に与える影響も調査する。またこの結果を、同じ海域に設置される風況観測タワーによって得られる気象・海象データと統合することで、日本の環境・気候に適応した洋上風力発電技術の確立を目指す。

トピックス 4 日本の気候に適応した洋上風力発電の実証研究

洋上風力発電は、陸上に比べ安定した風力が得られることから、設置に適した遠浅の海域の多い欧州では盛んに進められている。一方、広大な排他的経済水域を有する我が国でも「2020 年を見据えた海洋国家成長戦略」¹⁾の中で、洋上風力発電の開発・普及を進めるとしている。港湾内や沿岸部に風力発電設備を設置した例はあるが、より広範な海域で洋上風力発電を実施するためには、台風や地震などの自然災害が多く、設置に適した遠浅の海域も少ない日本の環境・気候に適応した技術の確立と、適地選定のための気象・海象データの蓄積が必要である。

(独)新エネルギー・産業技術総合開発機構(NEDO)と東京電力(株)は共同で、千葉県銚子沖で洋上風力発電の実証研究を始めると発表した²⁾。この実証研究は、2010 年 6 月から 2014 年 3 月まで実施され、2011 年度上期に銚子市の南沖合約 3km、水深約 11m の海域に着床式^{注)}風力発電設備 1 基を設置する。沖合における洋上風力発電の実証研究は日本初の試みとなる。この発電設備は、高さ 130m・ローター直径 90m・出力 2,000kW 以上の日本最大級で、海底ケーブルを介して電力系統に接続され、発電した電力を一般家庭に供給する計画である。

実証研究では、地震や台風による暴風や高波に対して安全であり、塩害などを受けにくい風車や基礎を開発すること、遠隔監視技術などを適用して、アクセスが難しい洋上設備に適した運転保守方法を開発することなどを通じて、日本における洋上風力発電の設計・施工方法、運転保守方法などの設計指針の確立を目

指す。加えて、発電設備が海生生物や鳥類などに与える影響についても調査を実施する。この実証研究に先立ち、東京電力(株)は東京大学と共同で、2009 年 8 月より同じ銚子沖の洋上に風況観測タワーを設置し、風況や波浪などの気象・海象状況を把握することを目的とした研究を NEDO の委託事業として実施している³⁾。

今回の実証研究の結果を、風況観測タワー等によって得られる気象・海象データと統合することで、日本の環境・気候に適応した洋上風力発電技術の確立を目指す計画である。

図表 実証研究設備完成予想図



出典：東京電力(株)提供資料

注：洋上風力発電には着床式（または着底式とも言う）と浮体式があり、前者は海底に固定された基礎に、後者は海上に浮遊する基盤に発電設備が設置される。水深 80m 程度までは着床式が経済的と言われている。

参 考

- 1) 首相官邸 HP : http://www.kantei.go.jp/jp/singi/kokkasenryaku/image/20100422_jimukyokuhear_kokkou_haihu_2.pdf
- 2) 東京電力(株)プレスリリース : <http://www.tepco.co.jp/cc/press/10051902-j.html>
- 3) 東京電力(株)プレスリリース : <http://www.tepco.co.jp/cc/press/09081701-j.html>

気象庁が発表する大雨等の気象に関する警報・注意報が、2010年5月27日より対象範囲を1777区域の市町村単位で出されるようになった。これまでは、複数の市町村で構成された全国375区域を対象としており、一区域から見ると予報がおおまかであった。今後、市町村長が行う避難勧告の判断や住民の避難行動に対して、さらにきめ細かな支援が行われると期待される。また、配信される情報が報道機関の文字放送や通信事業者・気象事業者のインターネットサイト、メールサービスやカーナビゲーションなどに活用されることにより、地域や個人にカスタマイズされた防災気象情報が提供されると期待されている。

トピックス 5 大雨等の警報・注意報を市町村単位で発表開始

気象庁が発表する大雨や洪水、高潮等の気象に関する警報・注意報は、これまで複数の市町村で構成された全国375区域を対象として発表していたが、2010年5月27日より市町村単位(1777区域)で発表が行われるようになった¹⁾。

これまで警報・注意報の発表区域は、実際の災害発生市町村より広がったため、絞り込みが必要とされていた。また、住民が居住する市町村がどの区域に属するか理解しにくいという問題もあった。このような課題が、中央防災会議(2005年3月)などにおいて指摘されたことを踏まえて、気象庁は、防災気象情報をより住民や防災活動等に役立てるように今回の改善を行った。

気象庁は、市町村単位の発表を行うために、まず、各警報・注意報の発表基準の見直しを行った。例えば、大雨警報・注意報では、1991年以降に発生した全国の土砂災害や浸水害を抽出して、事例毎に警報・注意報の発表基準である1時間・3時間の解析雨量²⁾、土砂災害の危険性を示す土壌雨量指数²⁾を算出した。これらの数値と実際の災害現象との関係を分析し、各市町村の防災担当者とも協議しながら、市町村毎の発表基準を定めた。

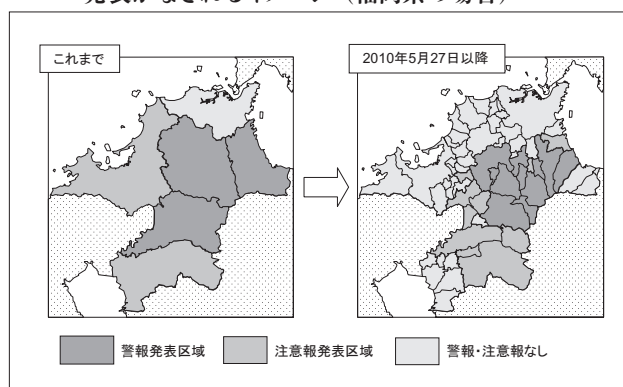
市町村単位の発表を行えるようになった技術的背景には、全国に設置されたレーダーやアメダス情報および数値予報²⁾により1kmメッシュで雨域の監視や予測が可能となってきたことや、雨水の土壌中への浸透量を解析した土砂災害の危険性予測については5kmメッシュで実施できるようになってきたことなどが挙げられる。なお、今回から大雨警報・注意報は、災害の恐れがあるのは土砂災害か浸水害かも区別して発表される。

気象庁が過去の53の気象事例を基に試算したとこ

ろ、市町村単位で発表を行うと、大雨警報・注意報となる市町村数が、これまでより約76%に減少し、より地域状況に対応した発表が行われる。しかし、今までより狭いエリア毎に判断するために、発表回数は全体で約1.5倍に増えると想定している。このように情報量や発表頻度が増えることから、判りやすくするために、気象庁は、使いやすい表形式や地域をまとめた形式での情報提供を行う。また、情報通信機器で加工処理しやすいXML形式での配信も行われる。

今回の大雨等の警報・注意報の改善により、市町村長が行う避難勧告等の防災対応の判断や住民の自主的な避難行動に対して、さらにきめ細かく支援が行われるようになって期待される。また、配信された情報が、報道機関の文字放送や通信事業者・気象事業者が運営するインターネットサイト、メールサービスやカーナビゲーションなどに活用されることにより、地域や個人にカスタマイズされた防災気象情報が提供されると期待されている。

図表 市町村単位の発表により、地域状況により対応した発表がなされるイメージ(福岡県の場合)



参考文献¹⁾を基に科学技術動向研究センターにて作成

参 考

- 1) 気象庁プレスリリース: http://www.jma.go.jp/jma/press/1004/21b/sichouson_keihou2.htm
- 2) 気象庁ホームページ 気象等の知識: <http://www.jma.go.jp/jma/menu/knowledge.html>
- 3) 臼田裕一郎、「防災・減災のための情報通信システムの相互運用」、科学技術動向、No.83、2008年2月号

2010年3月、STMicroelectronics社とスイスのベンチャー企業である SENSIMED 社は、コンタクトレンズ型 MEMS 眼圧センサに関する発表を行った。緑内障の診断には眼圧計による検査が行われているが、睡眠中に眼圧が最も高くなるような場合には緑内障と診断されず、早期に治療を開始できないという問題があった。このセンサは、シリコン製コンタクトレンズに、眼圧計測の歪みゲージと電子回路を組み込み、専用レコーダとのワイヤレス通信によってデータを読み取る。電波で電力を供給するためレンズに電源やケーブルを接続する必要がない。患者を拘束することなく睡眠中も含めた日常生活における眼圧変動を把握でき、緑内障の早期診断が可能になる。欧州では 2010 年中に医療機器として販売される予定である。

トピックス 6 コンタクトレンズ型 MEMS 眼圧センサ

STMicroelectronics 社と SENSIMED 社は 2010 年 3 月に、MEMS (Micro Electro Mechanical Systems) を内蔵したコンタクトレンズ型センサに関する発表を行った^{1), 2)}。

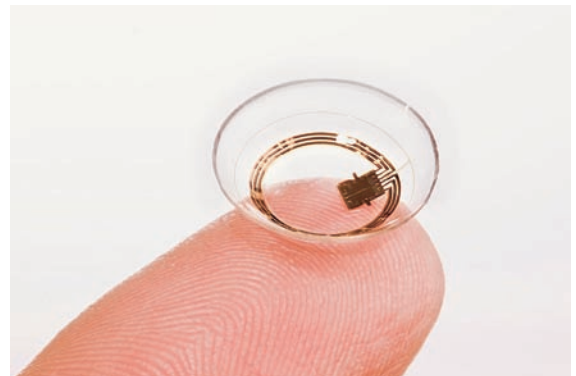
失明の原因ともなる緑内障は進行性視神経疾患で、完全に治癒はしないが適切な診断・治療により進行を抑制することができる。2000 年 9 月から 2001 年 10 月にかけて岐阜県多治見市で行われた緑内障の調査⁴⁾から、40 歳以上では約 20 人に 1 人は緑内障にかかっていると推定されている。緑内障の診断には眼圧計による検査が行われているが、睡眠中に眼圧が最も高くなることもあるため、従来の検査では眼圧の上昇を検出できない場合があった。そのため、症状が進行するまで緑内障と診断されず、早期に治療を開始できないという問題がある。今回発表されたコンタクトレンズ型 MEMS 眼圧センサでは、睡眠中も含めた眼圧計測が可能となるため、的確な眼圧計測により緑内障の早期診断が進むと期待される。

今回発表されたコンタクトレンズ型 MEMS 眼圧センサは、シリコン製の使い捨てコンタクトレンズに MEMS が組み込まれた構成である。レンズ内にプラチナ/チタン製の歪みゲージがあり、これにより眼球面の湾曲を検出して眼圧を求める。信号処理用の電子回路とループアンテナが内蔵され、専用のレコーダとのワイヤレス通信によって測定データを読み取る。レンズ内の電子回路には受信電波によって電力が供給されるため、レンズに電源や電源用のケーブルを接続する必要がない。患者の体に装着できるレコーダと組み合わせ

て使用することで、患者を拘束することなく日常生活における眼圧計測が可能である。コンタクトレンズ上に部品や回路が配置されているが、患者の視界を妨げないようにデザインされている。

実際に使用する場合には、眼科医がこのコンタクトレンズ型 MEMS センサを患者に装着して、24 時間眼圧を計測し、その後、レコーダに記録された眼圧データを取得して診断する。睡眠時を含めた日常生活における眼圧変動を把握することができ、緑内障の早期診断が期待される。現在は、欧州の大学病院等で臨床実験が進められており、すでに、CE マークも取得している。欧州では 2010 年中に医療機器として販売される予定である。なお、コンタクトレンズ型 MEMS 眼圧センサの開発元である SENSIMED 社はスイス連邦工科大学ローザンヌ校の研究者がスピンオフして 2003 年に設立したベンチャー企業である。

図表 コンタクトレンズ型 MEMS 眼圧センサの外観



出典：STMicroelectronics 社提供資料

参 考

- 1) STMicroelectronics 社発表資料： <http://www.st.com/stonline/stappl/cms/press/news/year2010/t2485.htm>
- 2) SENSIMED 社発表資料： <http://www.sensimed.ch/>
- 3) Matteo Leonardi et al. (2009), Wireless contact lens sensor for intraocular pressure monitoring: assessment on enucleated pig eyes, Acta Ophthalmol, 87, 433-437.
- 4) 日本緑内障学会、緑内障疫学調査： <http://www.ryokunaisho.jp/general/ekigaku/tajimi.html>

「所有から利用へ」の世界を支えるクラウド・コンピューティングの可能性

黒川 利明
客員研究官

日高 一義
客員研究官

1 はじめに

「クラウド」という言葉は、英語の雲(cloud)から来ている。クラウド・コンピューティングは、インターネットを基盤にした情報処理を指し、インターネットを雲の形で書き記す。すなわち、各種の計算、情報通信処理を、手元の計算装置ではなく、雲の向こうのクラウド・センターにある計算資源を使って行い、手元の端末に表示することを指す。

クラウド・コンピューティングは、コンピュータのバッチ利用、リモート処理、時分割処理、パーソナル・コンピューティング、クライアント・サーバーなどといった利用形態あるいは利用システムの延長にある。広い意味では、ICT技術の進展とインターネットの浸透による、個人の生活、企業の活動、社会の制度などの大きな変化を支える、近未来のIT技術とその活用全般をクラウド・コンピューティングと呼ぶこともある。

そのために、単に「クラウド」と言っても、クラウド・コンピューティングのどのような側面を指す

か、また、どのような立場で考えるかによって、多様な解釈があり得る。細かい定義に関しては議論が分かれ、識者の間でも意見の不一致が見られる。

総務省が平成21年6月5日に発表した、「ICTビジョン懇談会報告書—スマート・ユビキタスネット社会実現戦略—」¹⁾や、経済産業省が平成21年7月22日から始めた「クラウド・コンピューティングと日本の競争力に関する研究会」の報告²⁾においては、「クラウド」や「クラウド・コンピューティング」という言葉を、今後、一層インターネットへの依存が深まる情報通信処理全般に広く用いている。そこで、本稿でも「クラウド・コンピューティング」を「クラウド」と省略して呼び、クラウドのサービスについて、そしてクラウドの可能性について広く述べる。一方、クラウドの技術要素については、すでに多くの解説があるので省略する(たとえば、参考文献³⁾)。ただし、クラウドを取り巻く環境、いわゆるエコ・システムについては、多

少解説する。

クラウドの可能性すべてが、これから将来にかけて必ず実現するとは限らないし、また、いつ実現するかも現時点では分からない。さらに、クラウドが計算や情報処理のあらゆる場面で使われるようになるわけではない。恐竜と揶揄されたメインフレーム計算機がいまだに利用されているように、従来から使われている計算機も含め、様々な計算機やシステムが用途に応じて使われていくのが自然な流れである。

強調すべきクラウドの革新性は、目に見える個別のサービスや技術要素よりも、むしろ、クラウドセンターを成り立たせるソフトウェアなどのスケーラブルな設計運用方針とCO₂排出なども考慮した包括的なTCO(包括維持費用)への取り組みやクラウド利用の背景にある「所有から利用へ」といった考え方、そして、地球規模のスケーラブルな市場にあると言える。

2 クラウド・コンピューティングについて

2-1

クラウド・コンピューティングのサービス

クラウドの提供するサービスは、①CPU、メモリ、ストレージなどのハードウェアを提供するもの(クラウド・ハードウェア・サービス Hardware as a Services (HaaS) / Infrastructure as a Service (IaaS))、②ワープロ・表計算・顧客管理などのアプリケーションソフトウェアを提供するもの(クラウド・ソフトウェア・サービス Software as a Service (SaaS))、③プログラマに開発環境を提供するもの(クラウド・プラットフォーム・サービス、Platform as a Service (PaaS))の3つに分かれる。

図表1によりクラウド・ハードウェア・サービス(HaaS)の概略を説明する。まず、クラウドのホームページにインターネットでアクセスする。アクセスする権利などはあらかじめ許可されているものとする。次にクラウド・コンピュータのサービス画面で、自分の要求するコンピュータの構成情報(CPUの仕様、メモリやハードディスクの容量、オペレーティング・システムなど)、使用期間、使用料金を払うための情報などを入力する。これにより、クラウドのデータセンターに、要求したコンピュータが“仮想的に”準備される。ユーザーはこの仮想的なコンピュータを要求した期間は、物理的なコンピュータを手元に置いて使うのと全く同じように、インターネットを通じて自由に使うことができる。

現在提供されているクラウド・ハードウェア・サービスとしては、アマゾン社が自社インターネット・

サービスで使っているコンピュータ・リソースをその空き時間を利用してユーザーに従量制で利用を提供することがきっかけとなった Elastic Computer Cloud (EC2)、Simple Storage Service (S3)、マイクロソフト社が提供する Azure、IIS、ニフティなど通信事業者が提供するものなどがある。また、企業ユーザーにクラウドサービスを提供することを目的とする IBM 社の Blue Cloud では、IT・携帯電話をはじめとした製品の開発・テスト時にダイナミックにコンピュータ・リソースを提供するというサービスも行う。これらの背後にあるクラウドセンターでは、低価格なサーバーを何万台も組み合わせ、クラウドサービスの低価格化を実現している。

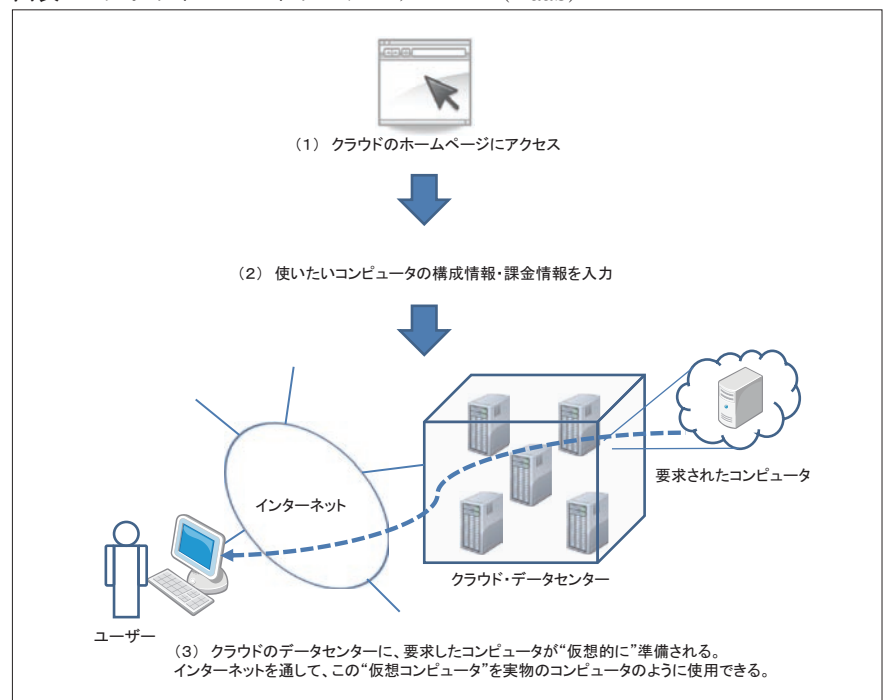
次に、図表2によりクラウド・ソフトウェア・サービス Software as a Service (SaaS) の概略を説明する。ユーザーは、クラウドのデータセンターに用意されている、メー

ルソフトウェア・業務用ソフトウェアなどを、インターネットを介して必要な時に利用できる。料金体系は、従量制・従来のライセンス方式・無料など様々である。

現時点で代表的なクラウド・ソフトウェア・サービスには、7GBの容量まで無料で利用できることで有名な Gmail を含む Google Apps、セールスフォース・ドット・コム社の顧客管理アプリケーションである Salesforce CRM などがある。

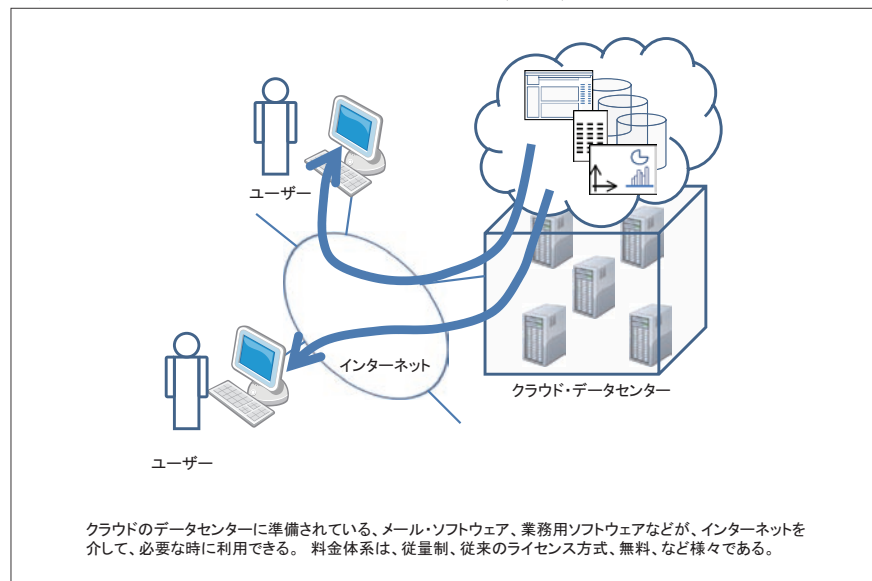
これらのクラウド・ソフトウェア・サービスを通して提供されるアプリケーション・ソフトウェアは、自分の PC に導入する必要がなく、Web ブラウザーを通して使えるようになっており、メモリーやストレージも必要に応じて追加される。例えばグーグル社の Gmail では、携帯電話の個人認証により、手軽に電子メールアカウントを作成して、電子メールによるコミュニケーションを行うこと

図表1 クラウド・ハードウェア・サービス (HaaS)



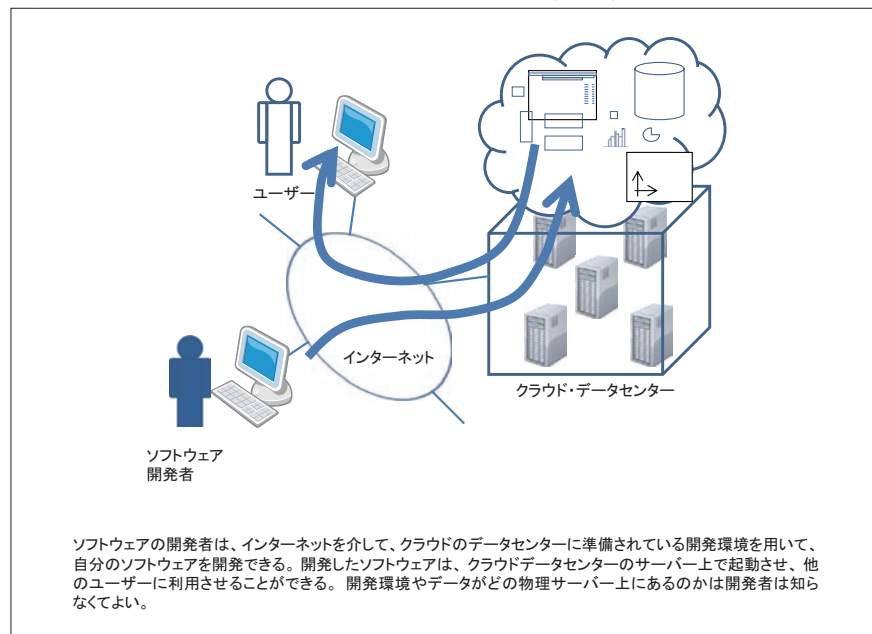
科学技術動向研究センターにて作成

図表2 クラウド・ソフトウェア・サービス (SaaS)



科学技術動向研究センターにて作成

図表3 クラウド・プラットフォーム・サービス (PaaS)



科学技術動向研究センターにて作成

ができる。このサービスは無料であるにもかかわらず、メール保管のディスク・スペースが割り当てられるだけでなく、スペルチェック、メール検索やグルーピング、グループメンバーと予定の調整・共有ができるカレンダー機能、スパムメールを分別できるセキュリティ保護機能などの高度な機能も提供されている。これらの機能は従来のようにPCにソフトウェアを導入するという作業が不要であり、インターネットのウェブ上の

サービスとしてウェブ・ブラウザさえあれば誰でも利用できる。これがSaaSの典型的な例と言える。

さらに、図表3によりプラットフォーム・サービス Platform as a Service (PaaS)の概略を説明する。

ソフトウェアの開発者は、インターネットを介してクラウドのデータセンターに準備されているソフトウェアの開発環境を用いて、自分のソフトウェアを開発できる。開発したソフトウェアは、クラウド・データセンターのサーバ上で

起動させ、他のユーザーに利用させることができる。開発環境やデータが、どの物理サーバー上にあるのかは開発者は知らなくてよい。これらは、開発環境を整備する時間的・金銭的成本を大幅に削減するメリットにつながる。

クラウド・プラットフォーム・サービスとして現時点で代表的な例には、グーグル社の Google App Engine、セールスフォース・ドット・コム社の Force.com などがある。これらは、Webサーバー上で開発環境とユーザー・プログラムの実行環境を提供している。マイクロソフト社も、Windows Azure Platform の提供を開始したが、ここでは従来の Windows の開発環境が提供されているため、Windows 環境でのソフトウェア開発担当者の注目を集めている。

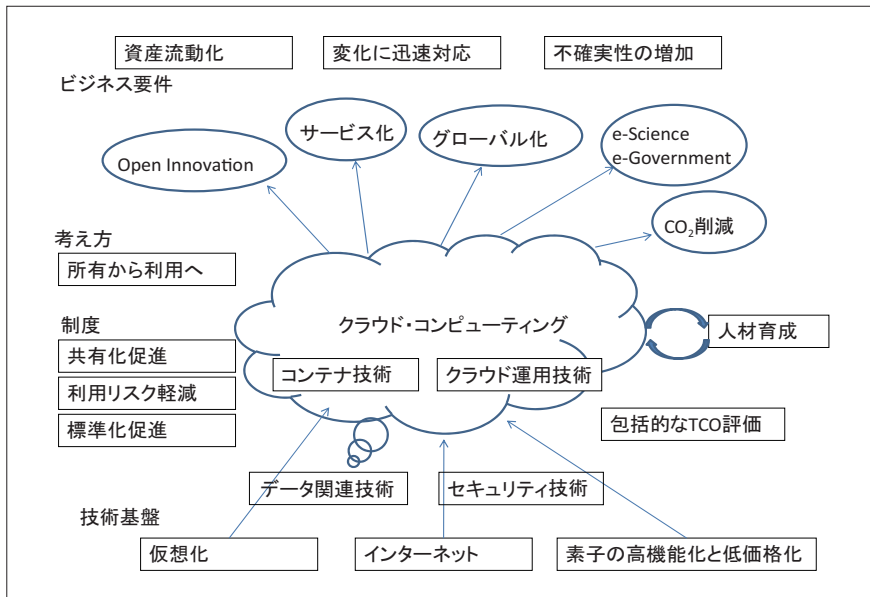
クラウドのサービスの特徴として、まず、拡張性があげられる。CPU・メモリー・ストレージなどのリソースは必要に応じて、時には自動的に、追加され、拡張される。また、不要になったら、いつでもリソースを解放し課金対象からはずせるような柔軟性も特徴となっている。ハードウェアにせよソフトウェアにせよ使った分に応じて料金が課金される従量性課金が主に採用されている。コンピュータそのものを購入するわけではないので、初期投資が極めて低いというメリットがある。また、データセンターですべてのオペレーションを行うため、メンテナンスやバージョンアップなどの複雑なコストのかかる操作からユーザーが解放されるという利点もある。

2-2

クラウド・コンピューティングを取り巻く環境と支える技術

2-2-1 環境要素

図表4 クラウド・コンピューティングを取り巻く環境とそれを支える技術



科学技術動向研究センターにて作成

クラウド・コンピューティングの技術(以後、クラウドと略す)については、まず取り巻く環境を考慮しておく必要がある。なぜなら、技術要素それ自体は、目新しいものではなくても、環境との相互作用によって、新しい影響力を持つようになっているからである。

日本企業が現時点でクラウドを導入する最大の理由は、コスト削減である。しかし、「所有から利用へ」という考え方の変化や、そのような共有化を推進する制度が、クラウドの基盤を支えると同時に、クラウドの発展とともに強化されていくという点が、より重要である⁴⁾。

クラウドが注目を浴びる理由には、当然ながら、それが世の中の様々な現在および将来のニーズに答えているという側面がある。まず第一に、ビジネスの世界において不確実性が増大し、環境が激変してもそれに迅速に対応できるように、組織自体を変化対応型に変えていかねばならないという要求がある。そのために、人材を含めた手持ち資産の流動化が進められ、顧客に対する価値提供をモノだけの提供からモノを含めた包括的なサービスへと置きかえていくサー

ビス化の流れが加速されている。そのような変化に対応して持続していくことが可能なようにビジネスを支える情報資産は流動化する。クラウドが提供するの、業務遂行の神経とも言うべき情報システムを、外界の変化に即対応できるアジリティ(迅速性)を備えたものに変えていく情報基盤である。

第二に、グローバル化への対応という要求がある。クラウドが備えるスケーラビリティは、数十億人を超える全世界の利用者を対象にできるという点で期待を集めている。第三に、CO₂削減などの環境保全およびエネルギー消費節減への要求がある。第四に、e-Science、電子政府、スマートメータの導入など、新たに多様な情報処理の要求への対応がある。

2-2-2 技術基盤要素

クラウドを支える技術基盤要素としては、仮想化・インターネット・およびムーアの法則に代表される素子の高機能化・低価格化がある。

仮想化(virtualization)の技術の端緒は、1960年代のIBM360というコンピュータシリーズが実装していたVM(Virtual Machine)の技

術に遡る。当時は、高価な大型計算機を共同利用するためのものであったが、現在の仮想化は、莫大な(端的には数万)個数のプロセッサの上で、仮想的なシステムを多数の利用者に提供できる技術に発展している。

仮想化に関連するシステム管理は、現在のクラウドを支える技術のなかで、システム・ユーザが特に魅力を感じる機能である。膨大な個数のシステムから構成されるクラウドセンターでは常にどれかのシステムで故障が生じるのが通例だが、システムとしては常時修復され、センター全体としては、通常のユーザーにとって、ほとんど不便を感じない程度に安定的に稼働することを目標に管理されている。(現状は、99.9%程度の稼働率が目標になっている。)しかも、そのシステム管理費用は高可用性を追求した専用システムと比べると安価なものとなっている。

インターネットとそれを実現するネットワーク技術も、クラウドを支えていることは、明らかである。クラウドの利用にはネットワークが欠かせない。クラウドのセキュリティや利便性の向上のために、ネットワークをさらに高度化する努力や世界的に見てネットワーク全体を最適に配置するための努力が今後必要となる。

素子の高機能化・低価格化は、次で述べるように、クラウド・データセンターの増大につながっている。プロセッサ技術の将来方向を考えた場合には、より多数のプロセッサ・コアを一つのチップの上に載せていく方向にあり、メニー・コア(many-core)という呼び方がなされている。現在、多数のシステムを対象として運用されているクラウドのシステム管理技術が、将来は、メニー・コアプロセッサを備えた一台のコンピュータ・システムにおいても採用される時代がやってくるだろうという予測がな

されている^{5, 6)}。

2-2-3 クラウド・データセンター技術

クラウド・データセンター（以下ではクラウドセンターと略す）は、クラウドに関する技術の中で最も分かりやすい対象である。数千、数万という大量の計算資源を集中管理して、全世界の利用者に対して、クラウド機能を提供する。

クラウドセンターは、計算資源を集中したデータセンターの発展形である。しかし、単に規模が大きくなっただけでなく、技術的にも考え方（ポリシー）にも従来のデータセンターにはなかったものになってきている。

基盤となる考え方のひとつが、包括的な TCO（Total Cost of Ownership 全維持費用）削減である。ここで、「包括的な」と言うのは、従来の TCO では、基本的にシステムのハードウェア・ソフトウェア・ネットワーク費用しか考えていなかったが、包括的な TCO では、電源・空調・人件費・CO₂ 排出量などまで考慮して、クラウドセンターの費用を削減しようとするからである。提供される計算費用の低減は、いわゆる「無料ビジネス」⁷⁾という新しいビジネスモデルを支える大きな要素となっている。

クラウドセンターの設置に関する技術として、最近注目を浴びているものにコンテナに多数の計算システムを詰め込んで使っていく、コンテナ技術がある⁸⁾。これは、国際流通に使われている標準的なコンテナをクラウドセンターの構築要素として使う。最近では、コンテナ自体が自然空冷で運用できるようになっており、センターの建築費がかからないという利点がある。このようなコンテナを必要ならだけ集積することによって、膨大な情報処理需要に迅速かつ安価に対応できるようになる。

運用技術においても、従来のデー

タセンターでは行われなかった運用方式が考えられている。例えば、データセンターの要素機器、プロセッサ・ディスク（フラッシュメモリによるものも含む）・ルータなどの価格および電力消費量が、ムーアの法則に従って低減し続けているため、3年も経てば新製品と交換することで包括的な TCO を削減するという方式が取られている。また、システム要素の故障に対する処置においても、故障した要素は、放置しておいても全体としての計算効率には影響が出ないため、故障が発覚した時点ではなく、定期的な巡回時にまとめて交換するという方式が、取られている。これらの運用方式も包括的な TCO 削減効果が大きい。

2-2-4 データ関連技術

データとその管理について、現在、注目を浴びている点は、利用者のユーザ・データの可搬性とその管理である。現在提供されている商用クラウドにおいてはユーザ・データの可搬性が保証されておらず、制度面で、データに対する警察司法権限や規制については、物理的にデータが存在すると考えられる地域の制度に従うものとなっている。しかし、これは世界中の他地域からの利用者にとっては必ずしも理にかなうものではない。

一般的にはあまり意識されていないが、クラウドの大きな能力として、大規模並列処理技術も注目されている。中核となるのは、仮想化やシステム管理の技術であるが、アプリケーションに近いデータベース処理やトランザクションにおいても、その基本的な考え方も大きく変わっていく可能性がある。データベースやトランザクションにおいては、従来、統合性や整合性が最優先の要件とされてきた。これに対して、最近のクラウドで開発された技術は、統合性と整合性よりも、並列化のスケール・ア

ウト機能による高速処理を優先する。具体的には、データベースでは、従来の関係データベースモデルではなく、キー・値対 (Key-Value Pair) を柱にして、大量のデータを高速に並列処理する。トランザクションにおいても、整合性を常に担保する二相コミットなどを行わず、大量の並列トランザクションを実行した後に確認を取るような、結果整合性 (eventual consistency)⁹⁾ と呼ばれる技術を採用している。さらに、このような計算を一般化した「エラー忘却型コンピューティング (failure-oblivious computing)」²²⁾ という概念も提案されている。これは、処理途中でデータ不整合などのエラーが生じても直ちにそれに対応する処理をするのではなく、エラーが生じたという記録だけを残して、計算を継続する。このような結果整合性やエラー忘却型をとるデータベース/トランザクション・アプリケーションの実行は、そのような計算方式をとるビジネスにおいて、個別データの統合性や整合性を多少犠牲にしても、ビジネス全体のスピードとスケール・アウトの方を優先視することを意味している。このようなクラウド・ベースの新たなビジネスの方式は、従来のビジネスの単なる延長ではなくするという可能性もある。具体的には、グーグル社などの検索エンジン、アマゾン社などのリコメンデーション・システムがそのようなビジネス例である。前述の「無料ビジネス」の構築はこの方向の上にある。

2-2-5 セキュリティ技術

セキュリティは、クラウドの一番の弱点として取り上げられているため、これを克服するための技術開発が進められている。新たな方式としては、Virtual Private Cloud (VPC)²³⁾ の導入がある。セキュリティを確保した仮想環境の提供や、データがどこにあるか分

からないというクラウドの弱点と言われている部分を逆手にとって、積極的にデータを分散することによって、攻撃や漏えいを防ぐという方法¹⁰⁾も提案されている。

また、一般利用者に対する詐欺行為であるとか、サービス提供者に対する DOS (Denial of Service) 攻撃などの悪質な攻撃を防ぐために、基盤となるネットワークのレベルで、悪質な利用者の参加を排除することで、セキュリティを確保しようとする動きもある。

さらに、セキュリティと実際の運用実態やリスクなどを勘案したうえで処理することも考えられており、国際的な法制度も含めた枠

組みの整備や標準化などが論じられている。これには、クラウド事業者の法的な責任をどうするか、情報の安全性の保証をどのように担保するかというような問題も含まれる。後の「6. 日本におけるクラウドセンター」でも触れるが、国家としての情報安全保障という視点も必要になる。

一方で、クラウドの浸透に伴って、セキュリティ自身への考え方も変わりつつある。デジタル・ネイティブ²⁰⁾と呼ばれる若い人たちの中には、年配者にとってはプライバシーに関わるもので外部に発信してはならないと思われるような事柄まで、Twitter や SNS など

であけっぴろげに論じるような傾向がある。ネット上のプライベートな集まりが日常化しており、一つ一つのセキュリティを守ることよりも、そのような場をどのようにに悪意のある外部者から保護するかが今後の課題となっている。企業活動においても、企業の外への Twitter を通じての情報交換が、正式な企業広報とどのように関わるかが、企業法務の観点からも論じられている。そのような私的な要素を含めた関わり方が、有効性とコストの両面から評価されてきている。

3 クラウド・コンピューティングのもたらす変化の可能性

クラウド・コンピューティングが世の中にどのようなインパクトを与えるのかという点で、可能性を社会・企業・個人の三つの観点から検討する。2005 年の「PC グリッド・コンピューティング」の報告¹⁷⁾でも述べられたように、世界中の CPU パワーは、すでに業務で必要とする計算能力を上回っていて、過剰に装備されていると考えられている。それでも、クラウド・コンピューティングを推進するクラウドセンターが建設されようとしている背景には、①従来は、「計算」と見なされていなかったような新しい応用分野、例えば、YouTube のような動画の投稿・共有、あるいは、iPad のような電子書籍閲覧などが生じていること、②「無料ビジネス」のように過剰で安価な計算資源が利用できることを前提にした新しいビジネスモデルが生じていること、などの変化がある。

3-1

社会の変化における可能性

社会において、クラウドは、計算(情報処理)に関する様々な負荷を軽減する可能性を持っている。この負荷軽減は、散在していた計算資源を集中管理して共有利用することと ICT サービスの標準化によって達成される。例えば、最近の地球環境保護、CO₂ 削減の観点から、クラウドに移行することによって、情報処理に伴う CO₂ 排出を削減することができる。これは、様々な場所に散らばっている計算資源をクラウド・センターに集約することによる電力や水などの全体としての使用量削減という直接的なもの¹¹⁾から、クラウドを活用した在宅勤務の普及などによる間接的なものにまで及ぶ。負荷軽減の中には、計算環境を構築しサービスを提供するための作業量軽減や、設置のための時間の短縮と言ったものもある。別の観点から言えば、

従来の情報処理の開発やサービスに従事している大量の人員が不要になるということでもある¹²⁾。

安価な ICT 基盤を提供し、ICT 費用を軽減することは、開発の手間や時間といった ICT システム構築の負荷軽減となる。ICT 費用の軽減は、既存のサービスを ICT によって、より安価に代替したり、ICT を活用した新たなサービスの考案と導入が容易になる可能性も与える。したがって、社会システムの進化を加速し、社会全体としての便益も増やす可能性がある。しかし他方で、社会的な営みが従来よりも一層 ICT に依存するようになることから、ICT 弱者の存在など ICT に関する格差問題や ICT に関するセキュリティなどのリスクが増大するという危険性もある。

3-2

企業の変化における可能性

企業においては、上記の社会の

変化で述べたような負荷の削減・ICT 費用の軽減・開発時間の短縮・さらに新製品や新サービスの開発時間と開発コストの削減という効果が、企業グループ単位で享受できる。そのほか、クラウドを活用することによって、40 億人という地球規模のインターネット・ユーザ(クラウド・ユーザ)のすべてを顧客とすることも可能になり、小さな企業でも巨大な市場にアクセスすることが可能となる。また、クラウドのもつ共有促進機能を活用することにより、オープン・イノベーションを加速することができるようになる。さらに、他分野の企業が提供するサービスを自社の事業に取り込んだり、逆に、自社のサービスを他社に提供し活用してもらうというような関係強化が増えてくる。

日本国内においては、情報漏えいなどへのセキュリティ対策の一環として、社内クラウドに社内外から接続する端末(thin client と呼ばれる)の装備が進んでいる。社内ですでに使われるデスクトップ・パソコンには、ハードディスクなどのメモリは内蔵されず、ワープロやメールなどのソフトウェア全てを、クラウドに置いている大手企業もすでに存在する。今後は、スマートフォンなどのクラウド端末が企業

内でも使われるようになると見られている。

一方、アクセス可能な市場の拡大とともに、グローバルな競争がますます激しくなり、思いもかけないような競争相手が出現してくる場合が多くなる。他社との協力関係も頻繁に見直され、顧客から頻繁に批判や要望が届くようになる。サービスの寡占化が進む可能性もあり、企業運営の不確実性が増大する。

3-3

個人の変化における可能性

PaaS や IaaS を個人で直接利用する場合を除いて、個人には、クラウド・コンピューティングを利用しているのか、その他のインターネットのサービスを利用しているだけなのかの区別がつかない。例えば、代表的な既存のアプリケーションである Gmail では、それ以前から存在した無料のインターネット・メールサービスとの相違は、容量や関連サービスの多さ程度しか分からない。次に述べることは、したがって、「ユビキタス情報通信」が実現した場合において考えられていた個人の変化と重複す

る。

クラウド・デバイス¹³⁾と呼ばれる端末が世界中に行き渡り、情報通信の主要な役割を占めるようになる。クラウド・デバイスは、現在の PC やスマートフォンなどの発展した端末と考えることができる。個人が身につける携帯型と、家庭・職場・公共の場などに置かれた設置型の二種類が普及すると考えられる。いずれも、音声・ジェスチャー・キーボードなど複数の入出力機能を備える。

社会生活を送る上で必要な個人の情報は、クラウド上で管理されることになる。様々な手続きがクラウド・デバイスを通じて 24 時間いつでも容易に行えるようになる。一方で、クラウド上の貴重な情報を狙うサイバー犯罪は増加の一途をたどると考えられる。自分の管理情報に問題がないかどうかを、常にチェックする必要性が生じるだろう。

クラウドが普及すれば、個人の起業も容易になり、就職や就職のための学習も容易になる。一方で、企業や組織が頻繁にその活動を変化させるようになることから、その変化により職を失う頻度が高くなると考えられる。

4 所有から利用へ

クラウドの真に革新的な点は、「所有から利用へ」という情報処理エンジンのパラダイムシフトにある。現在、60 代以上の年代の人々にとって、計算機利用という観点だけから見ると、あたかも 30 年以上昔の大型計算機センターの共同利用という過去の状況に戻るような感じがするかもしれない。かつて、コンピュータが非常に高価であった時代には、共同利用が普通

で、一個人や一企業が専有的に所有する方が特別なことであった。しかし、ムーアの法則によりコンピュータの素子の価格性能比が劇的に上昇して価格が大幅に低減したため、個人も組織も PC というコンピュータを所有することが容易になった。極端な例としては、2009 年 12 月にサンフランシスコで開かれたマイクロソフト社主催の会議では、数千人の参加者全員

にノート型パソコンが無料で配布された¹⁴⁾。

クラウドによって、再び電子計算機の利用が専有的所有から共同利用へと転換する大きな要因は、利用コスト・利便性・アプリケーション、そしてその背後にある価値観の変化にある。インターネットの普及に代表されるように、情報処理が企業や政府組織などの業務のみならず、個人生活のあらゆる

る局面で行われるようになり、しかも、それが当然のことと受け止められるという環境が実現した。コンピュータの利用コストは、通信インフラストラクチャ、すなわちインターネットと携帯電話の普及と性能・信頼性向上によって、劇的に下がった。さらに、ほとんどの局面における ICT 利用の標準化と普及によって、利用に伴う様々な手間が減った。インターネットや携帯電話を支援する無線ネットワークの普及と高度化によって、利便性も向上した。アプリケーションの点でも、従来の計算環境ではありえなかったような SNS や GPS を使ったモバイルアプリケーション

が可能となった。さらに、ネットワークへの参加者数という観点では、世界中で何十億人という携帯電話の利用者がこのようなアプリケーションの視野に入ることによって、巨大な市場が生まれようとしている。

クラウドが推進する「共有」の概念は、過去の効果で所有できなかったための「計算機センターの共同利用」に戻るのではない。むしろ「専有」する手間を省くという意味の共有化である。あるいは、「仮想的な所有」という利用形態であると言ってもよい。これは、カー・シェアリングが、自家用車が高価なためではなく、環境配慮や所有の手間

を省くために、導入されているのと同様である。

クラウドでは、膨大な計算資源を自分の用途に合わせて好きなように変更し、手元のクラウド・デバイスを通していつでもどこでも入出力ができる。あたかも、巨大な計算機が手元のクラウド・デバイスの中に装着されているかのような錯覚を与える。

さらに、専有的な所有から共同利用へという考え方の転換によって、他者とのアプリケーションや知識の同時共同利用や、従来考えられなかった方面へのオープン・イノベーションを展開するという可能性が開けている。

5 大きな変革が予想される場面

5-1

研究開発の変革

クラウドの研究開発は、要素技術の研究開発から始まるテクノロジー・アウト的な進展ではなく、ビジネスの戦略が牽引するソリューション・プルのなアプローチにより進展している。

グーグル社やアマゾン社は、まず自分たちのビジネス戦略に基づいて顧客に提供するサービスを決め、これを最善の方法で提供するための方法として、ビジネスプロセスとそれを実現する IT を含むインフラストラクチャを設計した。この IT インフラストラクチャを構築する際には、費用と効率のバランスをとり、新たにコンピュータを開発するのではなく、既存のコンピュータを大規模に集めた。このようにビジネスを優先し、技術は従来のものを用いることでサービスを始めると、大量の検索や、大量の購買を処理するための基本

的な研究課題が出て来た。この研究課題には、データの整合性¹⁵⁾や分散ファイルシステム (Amazon S3) の開発などが含まれる。例えば前者に関しては、データの整合性に関して従来からあった結果整合性 (eventually consistency) という概念が、BASE (Basically Availability, Soft State, and Eventually Consistency) として拡張され、新たなトランザクション技術を生んだ¹⁵⁾。この流れは、基礎研究から始めて製品化に結びつけるテクノロジー・アウト的な進め方ではなく、ビジネス戦略が牽引するソリューション・プルのなアプローチの典型的な例と言える。投資の無駄を避け、かつ良い IT サービスを提供するためには、このようなソリューション・プルのな研究開発をいかに成功させるかが、インターネット・テクノロジーの研究開発における成功の鍵となると思われる。

5-2

ビジネスプロセスやビジネスインフラの変革

クラウドの普及と「所有から利用へ」という考え方の浸透は、特にビジネスプロセスやビジネスインフラに大きな変革を起こす。現在のビジネスの多くは、情報を資産の重要な部分として明示的に扱っている。その情報を処理するインフラが、従来の専有形態から、共有利用形態に移ることによって、ビジネスプロセスそのものに、様々な影響が生じる。

共有利用するクラウドの適用形態には、部門別のサーバーを統合した全社規模の社内クラウドから、グループ企業間のグループ・クラウド、あるいは、共有相手がまったく分からない商用のクラウドまで、いろいろとありうる。したがって、ビジネスプロセスの変革の程度も、様々なであるが、基本的には、オープン化・可視化・標準化とい

う静的な側面と、迅速性・弾力性 (elastic)・変化対応性という動的な側面とによって変革が進むと考えられる。

オープン化・可視化・標準化という静的な側面とは、ビジネスプロセスを関係者が専有し、情報を抱え込んで他者より優位に立とうとする状況であったものが、プロセスを開放するか標準的なものに変更することによって、プロセスを可視化し情報を共有することによって、プロセス全体の効率を高め、関係者全体で Win-Win の関係を築こうとするようになることである。これには、国際物流の可視化を図ろうという APEC などの動きや、国際会計基準の採用などと言った動きが相当する。

動的な側面である迅速性・弾力性・変化対応性は、企業が直面している不確実性に対応して、ビジネスプロセスとビジネスインフラを弾力的に運用しようという動きにつながる。クラウドの採用によってビジネスプロセスとインフラが弾力性を持つことによって、季節的に限定された新ビジネスでも、例えば年賀状サービスのウェブポなどのように可能になってきた。「無料ビジネス」の多くは、このような弾力的なインフラによって固

定費を変動費にすることが可能となったことにより、実現している。

クラウドは、データやプロセスの共有を実現することで、上記の静的な側面による変革を支援し、情報処理の資源を弾力的に提供することによって動的な側面による変革を支援する。

5-3

情報産業の構造変革

クラウドは全産業に渡ってビジネスプロセスの変革を起し、産業構造の変革ももたらす可能性がある。3-2で述べたように、各企業が余分な資産を持たずにスリム化すると同時に、他企業との連携を積極的に取っていく。このため、従来の意味での規模拡大ではなく、むしろ専門に特化し、関連する他分野の企業との関係を俊敏に取っていく能力が評価されるようになると考えられる。

特に情報処理に直接関わる ICT 産業には、次のような変化をもたらす可能性がある¹²⁾。

●PCなどのコンピュータの一般販売はなくなり、PCの機能と携帯電話の機能を併せ持った、様々

なクラウド・デバイスが安価に販売される。

●ICT関連製品や業務の標準化が進展する。

●顧客の要望に合わせたシステム開発やシステム・インテグレーションという形式の情報処理サービスはなくなり、利用者自身が多様なサービスを選ぶか、自分自身で組み合わせて使うようになる。

●上記の結果として、従来のコンピュータ産業従事者や情報処理サービス従事者は、業務内容の大幅な変更を余儀なくされる²⁵⁾。

●ハードウェア・ソフトウェア・サービスを「販売する」という活動、あるいは「リースする」・「アウトソーシングする」という活動は、ハードウェア・ソフトウェア・サービスの「所有」(一定期間の所有を含む)を前提とした市場でのビジネスモデルであった。したがって、所有から利用へという市場の変化にともなって、ICT企業の活動は、常にネットワークで接続された基盤の上で絶えず取捨選択されるコンポーネント化された「機能」をオンデマンドに供給し続けるというビジネスモデルに移行する。

6 日本におけるクラウドセンター

日本は、インターネットおよび携帯電話によるネットワーク網が、世界でも有数の普及率・可用性・信頼性を達成しているため、クラウドを利用する環境としては、理想的と言える。

しかし、現時点では、日本には世界に並ぶクラウドセンターがまだ存在していない。前述したような、海外で技術開発が進展中のコンテナ型のクラウドセンターの導入については、IIJ社がやっと実証

実験を開始したという状況である。

例えば、2-2で述べたように、クラウドセンターを構成する要素機器の価格は、下落し続けており、価格破壊が日常的になっている。小規模なICT事業者は、今後のサービス価格が低下すると考えられるため、既存設備の投資回収は難しく、経営が苦しくなる恐れがある。一方で、先行している大規模事業者は、包括的なTCO削減の効果を享受しながら、サービス価格を

下げて競争優位を確保できるという状況が生まれる。今後は、この分野への新規参入がますます困難になる可能性がある。

日本になぜ世界規模のクラウドセンターができないかについては、狭小な国土や、アジアの極東にあるという地勢上の問題、地震など自然災害のリスク、土地代・電気代・水道代・人件費などの費用が高価なこと、人的資産の不足、優遇税制の欠如などという問題に加

えて、法制的硬直性があげられている。しかし、シンガポールや香港におけるクラウドセンター開設の動きをみると、国土の狭小さや費用は理由にはならない。むしろ、法制などの障害の方が大きい可能性がある。例えば、米国で作られたコンテナ型のセンターをそのまま日本に持ってこようとすれば、建築基準法・消防法など、日本の法令に合わないことが最大の問題

点だと言われている。これは、1990年代にインターネットの検索エンジンの開発において、日本の著作権法の運用上の不透明性が大きくて、検索サービスが立ち遅れたという経緯を思い起こさせる。

将来的には、多くの産業やサービスがクラウドというインフラストラクチャに依存するようになると思われるが、日本の現状がこのまま続くとすれば、クラウド

の基盤およびクラウド・サービスを、日本のユーザーは、海外企業に依存し、継続的に費用を支払っていくことになる。エネルギーや食糧における自給率と安全保障が議論になってきているが、今後は、情報および情報保管に関する自給率と安全保障も考える必要が生じる。

7 海外先進国の動き

クラウド最先進国である米国においては、政府は連邦調達局 (General Services Administration, GSA) などが中心となって、IaaS や PaaS を含めて積極的なクラウドの利用を促進している。例えば、すでに GSA のウェブサイトでは、コンピュータやストレージなどを

クラウドで調達利用することができ¹⁸⁾。欧州では、EU 指令により政府関係が EU 域外のデータセンターを利用できないことになっているため、アイルランドなどにクラウドセンターが設置されてきた。EuroCloud という業界団体も 2009 年 10 月に設立されている。

アジアでは、中国・シンガポール・ベトナム・インド・ドバイなどにクラウドセンターがすでに設置されるか、近々設置の予定となっている。台湾では、政府主導の「台湾雲端運算(クラウドコンピューティング)聯盟」が 2010 年 4 月に設立されている¹⁹⁾。

8 クラウドに関わる人材育成

他のあらゆる技術の場合と同様であるが、クラウドを支え、それを活用する人材とその育成も重要である。米国では、Academic Cluster Computing Initiative¹⁶⁾ という産官学の人材育成プログラムが、日本の九州大学を含めた米国外の大学も参加して実施されている。日本では、このようなクラウド技術にかかわる人材育成と同時に、クラウドにより社会・経済を変革できる人材の育成が急務である。

その一つの方法として、グーグル社、アマゾン社などを含めた新

たな国際的なビジネスリーダー的企業への、国際インターンシップを実施することが考えられる。新たなアイデア、発想、戦略がどのようにして生まれるのかを身をもって体験させ“Thought Leader”を大幅に育成することが、各企業での自己努力のみならず、日本の社会全体として行うべきことに思われる。

日本では、クラウドを支え、それを活用する人材の育成という点でも立ち遅れがみられる。クラウドを活用した ICT サービス産業の

育成という面でも、クラウド以前からの ICT サービス産業の不振という背景もあって、先進国の中では立ち遅れており、今後、これをどのようにして世界的に競争できる水準にまで持っていくかが課題である。

日本国内では、総務省・経済産業省で、クラウドに関する研究会が設置され、霞ヶ関クラウドなどの計画が進められている。文部科学省ではクラウドの人材育成支援も行われているが、人材育成策は十分とは言えない。

9 おわりに

本レポートでは、クラウド・コンピューティングにおいては、「所有から利用へ」という考え方の変化があり、地球上の40億人を超えるインターネット・ユーザへのスケーラビリティ拡大の方向性があることを述べ、クラウドの利用や開発の環境整備の必要性を訴えた。

現在の日本企業において、クラウド導入の最大理由は、帳簿上のコスト削減となっているが、クラウド導入は、所有に基づいた経済から利用に基づく経済への変革となる²⁴⁾。そのような変革を実現するプラットフォームとして、クラウドとそれを支えるクラウドセンターがある。これからの産業のそのようなマザー・マシンの役割を果たすのが、これからのクラウドセンター技術である。このような

技術開発のためには、特区設置などを含めて法制度の柔軟な運用に向けて、あらゆる対策を講じていくべきであろう。

数年前まで話題になっていたグリッド・コンピューティング²¹⁾の考え方では、クラウドセンターと同じように大量の計算要素を使うのだが、利用者が限られていたために、社会的な影響まで論じられることはなかった。数年前に比べても、情報通信基盤が一層充実したという背景もあり、クラウドでは、社会的な影響、特に産業一般に対する影響が大きいと期待と不安に満ちたものとなっている。この機会を有効に利用できるか否かが、情報通信産業に属する企業の今後の存続を決めると言っても

過言ではない。様々な分野でのビジネスモデルの大幅な変革が、特に我が国の情報通信産業にとっては大きな転機となると考えられる。

謝辞

本レポートの執筆にあたり、丸山不二夫(早稲田大学、公立はこだて未来大学)、村上憲郎(グーグル株式会社)、安浦寛人(九州大学)、萩原正義(マイクロソフト株式会社)、横沢誠(株式会社野村総合研究所)、浦本直彦(日本アイ・ビー・エム)、大力修(新日鉄ソリューションズ株式会社)、梅原徹也、高橋孝一、星野岳穂(経済産業省)、折笠史典、高村信、寺岡秀礼(総務省)の各位に貴重なご意見をいただきました。ここに深く感謝いたします。

参考文献

- 1) 総務省、ICT ビジョン懇談会報告書 2009 年 6 月：
http://www.soumu.go.jp/menu_news/s-news/02tsushin01_000017.html
- 2) 経済産業省、クラウド・コンピューティングと日本の競争力に関する研究会、2009 年 7 月：
<http://www.meti.go.jp/committee/materials2/data/g90722aj.html>
- 3) 日経 BP 社出版局編、クラウド大全 The Complete Cloud Computing 〈サービス詳細から基盤技術まで〉、日経 BP 社、2009
- 4) 総務省スマート・クラウド研究会 (第 5 回) 配布資料 5-1：http://www.soumu.go.jp/main_content/000054401.pdf
- 5) eXtreme Computing Group：<http://research.microsoft.com/en-us/labs/ccf/default.aspx>
- 6) Futuristic Intel Chip Could Reshape How Computers are Built, Consumers Interact with Their PCs and Personal Devices：http://www.intel.com/pressroom/archive/releases/2009/20091202comp_sm.htm#story
- 7) C. Anderson フリー〈無料〉からお金を生みだす新戦略、日本放送協会、2009
- 8) ITMedia [2009/11/20]：<http://blogs.itmedia.co.jp/business20/2009/11/post-bbdf.html>
- 9) W. VOGELS, Eventually Consistent, Queue vol.6, no.6 (ACM), 2008
- 10) ZDNet [2010/1/28]：<http://japan.zdnet.com/sp/feature/10realtime/story/0,3800102676,20407595-3,00.htm>
- 11) クラウドの導入によって約 60% の CO₂ を削減する、マイコミジャーナル、2009/11/6：
<http://journal.mycom.co.jp/articles/2009/11/06/nec/index.html>
- 12) クラウドは超競争環境を生み出す？：<http://itpro.nikkeibp.co.jp/article/OPINION/20090725/334475/>
- 13) IT Pro ニュース、Android 端末はもはや電話機ではなく「クラウド・デバイス」――ABC 2009 Fall 基調講演、2009 年：
<http://itpro.nikkeibp.co.jp/article/NEWS/20091130/341285/>
- 14) ITPro [2009/11/20][PDC09]参加者へのお土産は“PDC モデル”のノートパソコン：

<http://itpro.nikkeibp.co.jp/article/NEWS/20091120/340809/>

- 15) 丸山不二夫、クラウドの成立過程とその技術的特徴について、情報処理学会、会誌「情報処理」、Vol.50, No.11, 2009
- 16) IBM とグーグル、高度並列コンピューティングで大学を支援、ZDNet Japan [2007/10/9]:
<http://japan.zdnet.com/news/software/story/0,2000056195,20358216,00.htm>
- 17) 刀川 眞、PC グリッド・コンピューティング—普及・向上する PC の有効活用による豊富な計算資源の社会的供給—、科学技術動向、No.54、2005 年 9 月
- 18) General Services Administration's Apps.gov: https://apps.gov/cloud/advantage/main/start_page.do
- 19) 台湾雲端運算（クラウドコンピューティング）聯盟: <http://www.taipeicloud.com/>
- 20) Don Tapscot、デジタルネイティブが世界を変える、翔泳社、2009
- 21) 亘理誠夫、グリッド技術の動向—次世代インターネット利用の中核技術になるか—、科学技術動向、2002 年 9 月号
- 22) Martin Rinard, etc., "Enhancing Server Availability and Security Through Failure-Oblivious Computing," Proc. 6th Conference on Symposium on Operating Systems Design & Implementation, 21-21, 2004
- 23) アマゾン、クラウドサービス「Virtual Private Cloud」を提供へ、CNET Japan、2009 年 8 月 27 日:
<http://japan.cnet.com/news/ent/story/0,2000056022,20398965,00.htm>
- 24) 岩野和生、クラウドがもたらすビジネス・エコシステムの射程、CIO マガジン、2010 年 4 月号、16-21
- 25) 谷島宣之、クラウド時代に IT エンジニアはいらない、ITPro、2010 年 5 月 7 日:
<http://itpro.nikkeibp.co.jp/article/Watcher/20100507/347748/?ST=cloud&P=1>

執筆者プロフィール



黒川 利明

客員研究官
株式会社 CSK CSK フェロー
<http://www.csk.com/index.html>

東芝、IBM を経て現職。プログラミング言語、オブジェクト指向、メタデータなどの標準化に従事。システム開発の上流工程、サービス科学、科学技術コミュニティ design thinking、ICT 人材教育にも関心がある。



日高 一義

客員研究官
国立大学法人北陸先端科学技術大学院大学 教授
http://www.jaist.ac.jp/profiles/info.php?profile_id=00545

日本アイ・ビー・エム(株)東京基礎研究所で、最適化技術、離散アルゴリズム、数理解析技術、ビジネス・ソリューション、計算組織論などの研究、プロジェクトの指揮にあたる。IBM Research ワトソン研究所の戦略部門で勤務。応用数理学会評議員。情報処理学会会員。日本オペレーションズ・リサーチ学会会員。2009 年 8 月より現職。博士(理学)。

AAAS 科学技術政策 年次フォーラム（2010）報告

長野 裕子
第3 調査研究グループ

1 はじめに

2010年5月13～14日、ワシントンDCにて、全米科学振興協会（The American Association for the Advancement of Science：AAAS）が主催する科学技術政策年次フォーラムが開催された¹⁾。本フォーラムは、科学コミュニティや大学等の研究機関が直面する政策的課題や、次年度の連邦政府予算要求の重点事項といった話題を取り上げ、科学技術関係者にそれらの動向を理解させ、議論する機会を提供することを目的として、毎年開催されている。従って、米国の科学技術政策において何が今重点課題なのかを把握するのに非常に有用な場と言える。35回目となった今回は、昨年に引き続き基調講演を行った John Holdren 科学技術担当大統領補佐官をはじめと

した政府関係者や、議会、大学等、学協会、シンクタンク、さらには諸外国の科学技術政策関係者等、400名を超える参加があった。

今回設定されたセッションのテーマは以下のとおりであり、オバマ政権発足直後の期待感で埋め尽くされた昨年度とはうってかわって、これまで次々と積極的に展開された政策の効果を確かめ、また財政や経済も厳しい中で科学技術の役割をどのように果たするかといった意味あいからの実直な政策的議論が展開されているように見受けられた。

【全体セッション】

・2011年度^{注1)}予算要求と政策的背景

- ・イノベーションのための米国風土の強化：公共政策の役割
- ・国の安全保障と科学技術の役割

【パラレルセッション】

- ・科学技術の社会的インパクト
- ・国際的な科学技術の関与に対する新たなアプローチ：大西洋を越えた展望
- ・排出量取引を越えて：別の気候変動問題

本稿では、特に2011年度の連邦政府研究開発予算要求に関係する政策の動向、イノベーション関係政策、科学技術の社会的インパクトなどのセッションを中心に結果の概要を報告する。

2 基調講演

John Holdren 大統領補佐官は、まず、国内や地球規模の政策課題に対して、科学技術は密接な関係

があるにとどまらず最も中心的な存在であること、その際「実用化」の目的だけでなく横断的な科学技

術基盤の強化を目指す必要があること、課題の解決のためには政府内の関係部局間はもちろんのこと、

注1：米国連邦政府の会計年度では、2011年度は2010年10月から2011年9月までとなっている。

官民や、他国まで含めてパートナーシップが必要であること、をオバマ大統領の見解として紹介した。

また John Holdren 氏は、オバマ政権が現在までに積極的に取り組んでいる重要課題について概観した。まず挙げたのは、政府の重要ポスト等に多くの著名な科学者を起用し、大統領が行うスピーチの中で従来にないほど科学技術に多く言及し、また景気刺激策以降これまで科学技術に対して一貫して重点的に予算措置をしてきたことである。また、米国のイノベーション戦略(2009年9月発表)について、基盤の構成要素(the building blocks)としての基礎的研究および科学・技術・工学・数学(STEM: Science Technology Engineering and Mathematics)教育等に投資を行うこと、イノベーション創出のために競争的市場を促進する取り組みと、国の優先課題をブレイクスルー

するための触媒作用といった3つの柱から構成されている、と述べた。このほか、STEM教育の取組に関する目標は、理科・数学テストでの米国の子供たちの国際的順位を中位からトップに引き上げ、また大学卒数を2020年までに世界でトップにすることである、と強調した。それらに向け、米国再生・再投資法^{注2)}をはじめとして積極的に各種施策を講じていること、直近では5月12日に全米規模の初のイベント「ナショナル・ラボ・デイ(National Lab Day)」²⁾を催したことを紹介した。

このほか、幹細胞利用のガイドラインや科学の公正性に関する原則といった取り組み、また連邦政府研究助成の進捗報告手続き簡素化に関する最近の新たな取り組みを紹介した。

最後に、気候変動問題を特に取

り上げ、緩和、適応、被害の各々に対して取り組んでおり、これらを成し遂げる費用よりも失敗に終わったときの対応にかかる費用のほうがはるかに高いことを強調した。「経済に相対するエネルギー・気候政策」ではなく「経済のためのエネルギー・気候政策」との認識で戦略を進めている、とも述べた。

これまでの主な施策として、ARPA-E³⁾やエネルギー・イノベーション・ハブ⁴⁾の立ち上げ、初の燃料経済政策としての二酸化炭素排気基準、中国、インドなど新興国との二国間パートナーシップの強化、米国地球規模変動研究プログラム(US Global Change Research Program)⁵⁾の拡充、適応のための政府対応にかかる政府部局間調整のタスクフォース、包括的エネルギー・気候関連法案の議会審議への対応といった活動を挙げた。

3 2011年度連邦研究開発予算について

【州立研究大学の困窮状況】

Linda Katehi 氏(カリフォルニア大学デイビス校 学長)から、連邦政府での取り組みと対比させるような話題提供として、他州でも多かれ少なかれ同様の状況にある、としながらカリフォルニア州での厳しい財政状況等を背景とした州立大学での困窮について紹介があった。州予算はこの20年で半減、特にこの12ヶ月で25%程度までの削減を見ており、結果として州立大学では給料や研究費の削減といったように、全般的に運営が悪化した。州予算の配分では10年前は刑務所に約6%、研究大学に約10%だったが、現在ではその逆の

割合になっているほどである。結果として、州立大学では経営の維持のため授業料を上げざるを得ず、中流層の才能ある若者に公立研究大学への進学を困難にさせているとのことである。

【米国全体の財政悪化】

Douglas W. Elmendorf 氏(議会予算局局長)から、米国では財政での赤字傾向と累積国債増大に直面していることが報告された。累積国債は、2007年当時、対GDP比でOECD諸国中15位(日本は1位)だったが、2020年までの推計でみると上位に食い込んでしまうとの見方もでている。この問題に立ち

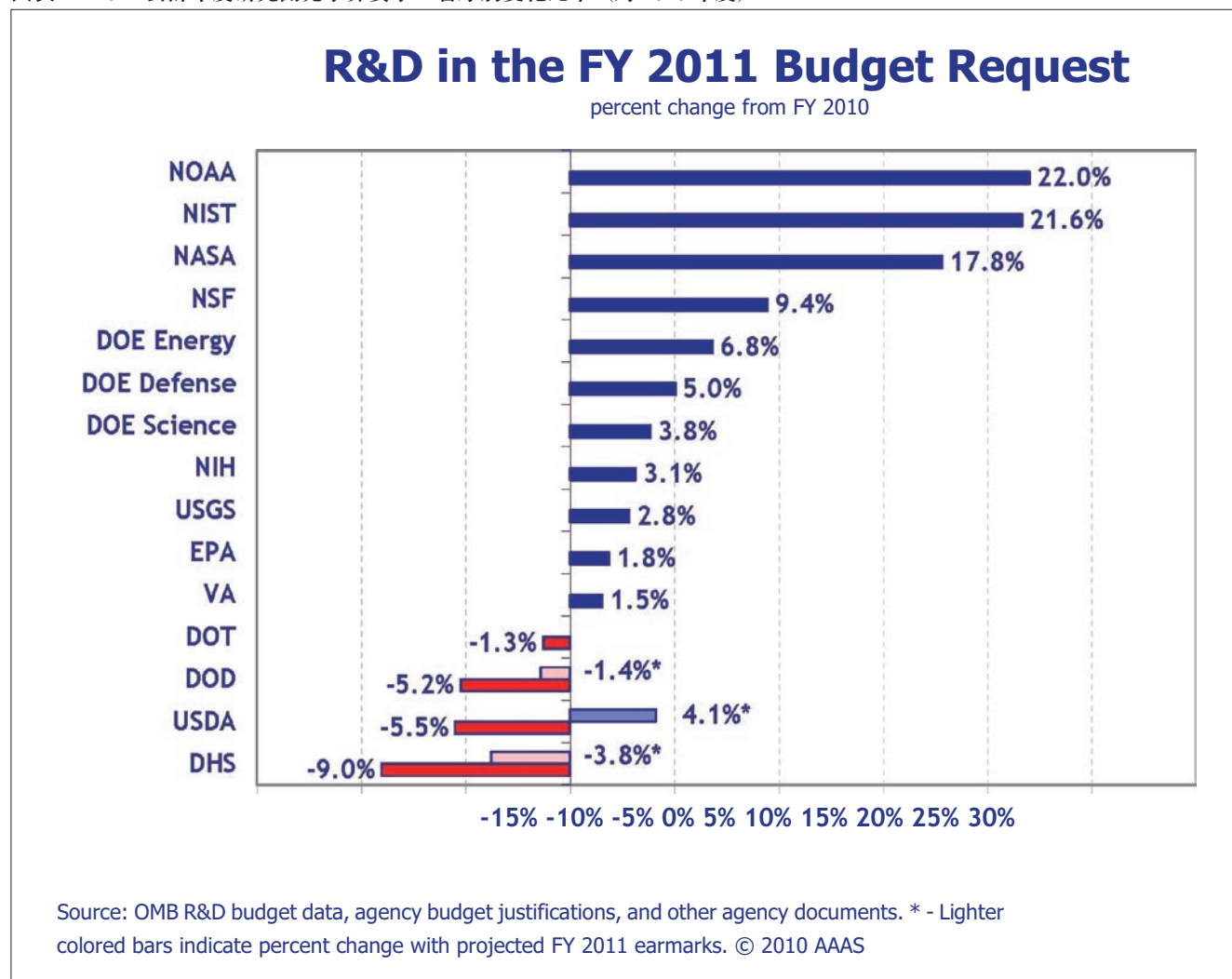
向かうためには、歳入・歳出において大きな方針転換が必要であることが強調された。

【連邦研究開発予算の省庁別・性格別特徴】

Patrick J Clemens 氏(AAAS 研究開発予算・政策プログラム課長)は、総額1,481億ドル(対2010年度0.3%減)の研究開発予算要求について、省庁別や性格別に概観した(図表1)。海洋大気局(NOAA)、国立標準技術研究所(NIST)、航空宇宙局(NASA)での大幅な増額をはじめとして多くの省庁で増額となっているが、国土安全保障省(DHS)、農務省(USDA)、国防総

注2：減税や種々の財政支出を含む大規模な景気刺激策を実施するための法律であり、2009年2月17日に成立した。

図表1 2011 会計年度研究開発予算要求の省庁別変化比率（対 2010 年度）



出典：Patrick J Clemens 氏（AAAS）講演スライド

注：薄い色の帯は、2011 年度イヤマーク予算の見積もり分^{注3)}を含めた場合の増減。

※ NOAA：海洋大気局、NIST：国立標準技術研究所、NASA：航空宇宙局、NSF：国立科学財団、DOE：エネルギー省、NIH：国立衛生研究所、UGGS：米国地質調査所、EPA：県境保護庁、VA：退役軍人省、DOT：運輸省、DOD：国防総省、USDA：農務省、DHS：国土安全保障省

省(DOD)、運輸省(DOT)で減額された。性格別では基礎研究で4.3%増であるのに対し開発では2.9%減、また非軍事研究全体で5.9%増となっている。現在、予算決議が上院予算委員会ですでに承認されており、各歳出小委員会において全部で12の歳出法を、理想的には2010年度末(2010年9月末)までに

通過させることが目指されている。

【農務省における研究助成の拡充や重点化】

Roger Beachy 氏(農務省食品・農業研究所長)より、農業・食料研究イニシアティブ(AFRI: Agriculture and Food Research Initiative)⁶⁾という助成制度を2011年度予算要

求で大幅増(30%増)するのを象徴として挙げつつ、気候変動、バイオエネルギー、食品安全、栄養・児童肥満や地球規模の食料安全保障といった社会的課題に対してさらに明確に対応するための最近の取り組みについて紹介があった。

注3：イヤマーク予算とは、議会の予算審議過程で特定の目的のために付加される予算である。大統領予算教書の時点では含まれていない。

4 米国でのイノベーションに向けた風土の強化に向けて

モデレータの F.M. Ross Armbricht 氏(AAAS 科学・工学・公共政策委員会委員長)からは、昨今の財政政策でよく見られるような3ヶ月先しか視野にないような対応ではなく、米国が真に世界を先導する国であり続けるためにはイノベーションが重要でありそのための長期的な取組が必要であるとの認識が示され、そのために米国は今何をする必要があるのかを議論することが求められた。

【「イノベーションの先鋭」の座を失いつつある米国】

Andrew Taylor 氏(ボストン・コンサルティング・グループ)は、諸外国企業を対象として自社が実施した調査の結果から、米国のおかれる状況を示した。イノベーション・パフォーマンスでは米国は8位にとどまり(1位がシンガポール、日本は9位)、最もイノベティブな企業50社の所在地は北米23、アジア15、欧州11、南アメリカ1となっており、2006年当時のアジア所在は5社だったのに対してアジアの躍進が顕著である(図表2)。米国は「イノベーションの先鋭」の座を失いつつあるとも言え、政府の研究開発投資や教育・訓練への投資が必要とされることが主張された。

【イノベーションに向けたカリフォルニア独自の取り組み】

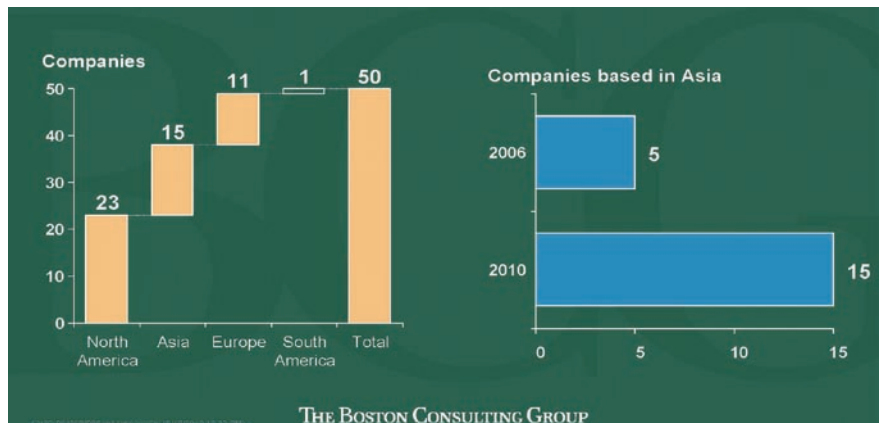
Susan Hackwood 氏(カリフォルニア科学技術委員会事務局長)は、イノベーションにおける「従来のやり方を一変させるもの」(game changer)の重要性を強調した。カリフォルニアはイノベーションの先陣となってきたが、これまで重視してきた領域は、通信、ヘルス・ケア、国際的システム、教育システムなどである。

【イノベーションに向けた教育イニシアティブ】

Steven Robinson 氏(大統領府国内政策委員会特別補佐役)からは、大統領のイニシアティブの下で教育省と協力して進めている、米国再生・再投資法による教育関係事業「トップへのレース」(Race to the Top)⁷⁾や、「刷新するための教育キャンペーン」(Educate to Innovate)⁸⁾といった取り組みが紹介された。また直近の事業である「ナショナル・ラボ・デイ (National

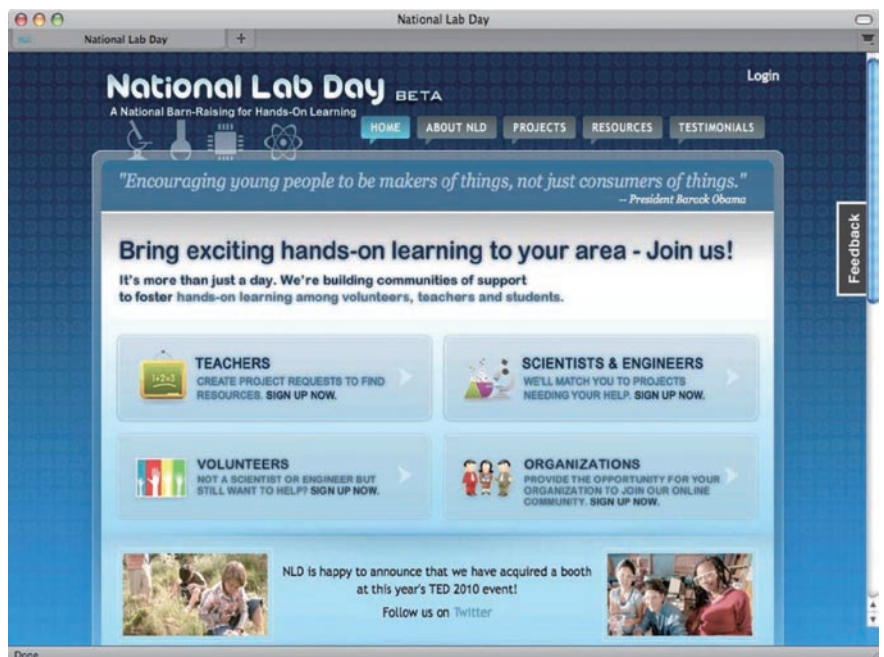
Lab Day)」では、一日限りのイベントではなく、専用ウェブサイト を常時運用し(図表3)、教育関係者、学生・生徒だけでなく科学コミュニティ、ボランティアを積極的に募り、地域コミュニティ全体の協力を築き上げようとする新たな試みがなされているとのことであった。包括的な原則は、「生徒にとっての障害を取り除く。格差をなくす。目標設定は厳しく、手法は柔軟に。イノベーションを促進し成功に報いる」としている。

図表2 最もイノベティブな企業50社の所在地 (2010年)



出典: Andrew Taylor 氏講演スライド

図表3 ナショナル・ラボ・デイのサイト (トップページ)



出典: Steven Robinson 氏講演スライド

5 その他の話題

5-1

科学技術の社会的インパクト

オバマ政権での科学技術に対する積極的な投資をしていく中で、科学技術の社会的なインパクトを評価することがますます求められてきているのは自然のことであり、これに呼応した関係者の取り組みも進められている一方で、広範な観点での観測も必要であるとの認識で議論がされた。

【政府説明責任局(GAO)の体制強化】

Timothy Persons 氏(政府説明責任局(GAO)主任科学顧問、兼同局科学技術・工学センター科学課長)からは、以前からの GAO (Governmental Accounting Office) が 2004 年に改組されて Government Accountability office となり、また 2008 年には科学技術に関して議会に対する独立的助言^{注4)}に必要な技術評価(technology assessment)を継続的に行えるようにするため、当該局内に科学・技術工学センターが設置されたことが紹介された。当該センターでは、これまでは個別分野に限って動向調査(scan)や、将来の方向性の推定などを行っている。議会などからの要求に対し迅速さと正確さに留意して対応しているとのことである。

【連邦研究助成のインパクト評価の試み】

Stefano Bertuzzi 氏(国立衛生研

究所科学政策分析室)は、米国再生・再投資法での予算措置や 2011 年度予算要求に際し強く求められるようになった、連邦政府が支援する研究開発の科学的・経済的・社会的インパクトを評価する試みとして、NSF と NIH が中心となって進めているプロジェクト、スター・メトリクス(STAR METRICS: Science and Technology in America's Reinvestment Measuring the Effect of Research on Innovation, Competitiveness and Science)⁹⁾ の概要を説明した。現在、第1段階として、6大学を対象にして研究者に大きな負担をかけないような自動化方式により、助成研究費による研究者の雇用状況等の分析に必要なデータベースを構築するシステムを構築しているところのことである。

このほか、倫理的問題など規範、規律によって科学の優先事項の再考を求める提言などの話題提供があった。

5-2

国の安全保障と科学技術の役割

9.11 以降国をあげて取り組んでいる安全保障問題について、依然として現在の米国で直面する課題があり、これらに対してどのように取り組むべきか、といった問題意識で話題提供や議論がなされた。

【米国の安全保障と高等教育・科学の相互理解】

C.D.Mote 氏(メリーランド大学学長)より、国の安全保障と大学セクターとの関係性の現状について話題提供があった。以前はミッションや文化の点で対立的な立場であったが、9.11 以降は相互に理解する必要性が生じ、安全保障と学問の自由とのバランスを取ることが求められるようになった。国の安全保障高等教育諮問会議(National Security Higher Education Advisory Board: NSHEAB)が 2005 年に FBI 長官により設置され、現在 23 大学の学長がメンバーとなっている。同会議では、国の安全保障問題と高等教育の相互理解を促進し、例えばバイオテロ、サイバーセキュリティ、輸出管理、核テロ、ビザ問題といったトピックを取り上げ、どうやって協力できるかを議論してきた。このほかの同会議のテーマとして FBI 職員雇用の観点から、FBI へのインターンシップや奨学金なども行われている。また、質疑応答の中で、ビザ問題で学生については優先的に入国できるが、研究者については枠が限定的であり入国が依然として困難であることが問題であると言及があった。

このほか、他国との協力による核不拡散への対応の重要性に関する英国王立協会(The Royal Society)からの話題提供、サイバーアタックに対する防御を「攻撃的」運用とする方策と課題についての報告と議論などがあった。

注 4：行政説明責任局(GAO)は、法に基づき連邦政府行政機関とは独立して、議会予算局(CBO: Congressional Budget Office)、議会調査局(CRS: Congressional Research Service)と同列に位置づけられている。

6 おわりに

最後に、筆者がこのフォーラムに参加した所感を以下に記す。

2008年1月からのオバマ政権では、米国再生・再投資法をはじめ一貫として科学技術への投資に最大の配慮がなされてきた一方で、その投資の効果を示していく説明責任が問われており、行政や科学界はこれへの対応策を迫られている。また、米国の財政状況を見ると急激な財政赤字の増大で、このままでは今後も累積国債が蓄積すると見られるなか、これを打開することが政府にとって大きな課題

となっている。

このような背景から、今回のフォーラムは昨年度で見られた新オバマ政権の科学技術政策への期待に満ちた議論とは異なり、ここに来て、これまでの投資の効果や、政策的・社会的問題に対して科学技術が担う役割といったことに対する説明責任をどのように捉え、足下を固めながらどのように舵を切っていくか、を模索するような議論となっているように見受けられた。

また、米国では特に初等・中等

段階での教育の質を向上させることが依然として大きな課題となっており、イノベーションの実現という文脈の中でも基盤的要素として位置づけられている。その際、科学的な知識や技術を有した労働力の確保という意味で、米国にとって今後の強化が必須との認識が広く共有されている。今回のフォーラムの議論の中でも、科学コミュニティの積極的な参加も得ながら、政府の取り組みがなされていることが窺われた。

参考文献

- 1) AAAS 科学技術政策年次フォーラムのサイト：
<http://www.whitehouse.gov/the-press-office/president-obama-launches-educate-innovate-campaign-excellence-science-technology-en>
- 2) ナショナル・ラボ・デイ “National Lab Day” のサイト：
<http://www.nationallabday.org/>
- 3) 連邦エネルギー省エネルギー高等研究計画局プログラム (ARPA-E: Advanced Research Projects Agency-Energy) のサイト：
<http://arpa-e.energy.gov/>
- 4) 連邦エネルギー省エネルギー・イノベーション・ハブ・プログラム (Energy Innovation Hubs) のサイト：
<http://www.energy.gov/hubs/>
- 5) 米国地球規模変動研究プログラム (United States Global Change Research Program) のサイト：
<http://www.globalchange.gov/>
- 6) 連邦農務省農業・食料研究イニシアティブ (AFRI: Agriculture and Food Research Initiative) のサイト：
<http://www.nifa.usda.gov/funding/afri/afri.html>
- 7) 連邦教育省「トップへのレース (Race to the Top Fund)」事業のサイト：
<http://www2.ed.gov/programs/racetothetop/index.html>
- 8) ホワイトハウス内「刷新のための教育キャンペーン (Educate to innovate Campaign)」のサイト：
<http://www.whitehouse.gov/the-press-office/president-obama-launches-educate-innovate-campaign-excellence-science-technology-en>
- 9) スター・メトリクス・プロジェクト・ワーキンググループのサイト：
http://sites.nationalacademies.org/PGA/fdp/PGA_057189

執筆者プロフィール



長野 裕子

科学技術動向研究センター
第3調査研究グループ 総括上席研究官
<http://www.nistep.go.jp/index-j.html>

これまで科学技術庁、文部科学省で各種科学技術行政に従事し、2008年より現職。グループの主な調査研究テーマは、産学連携、大学発ベンチャーや地域イノベーション等。最近の主な関心は、政策立案・実行におけるエビデンスへの立脚と科学的助言のあり方。