

「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。

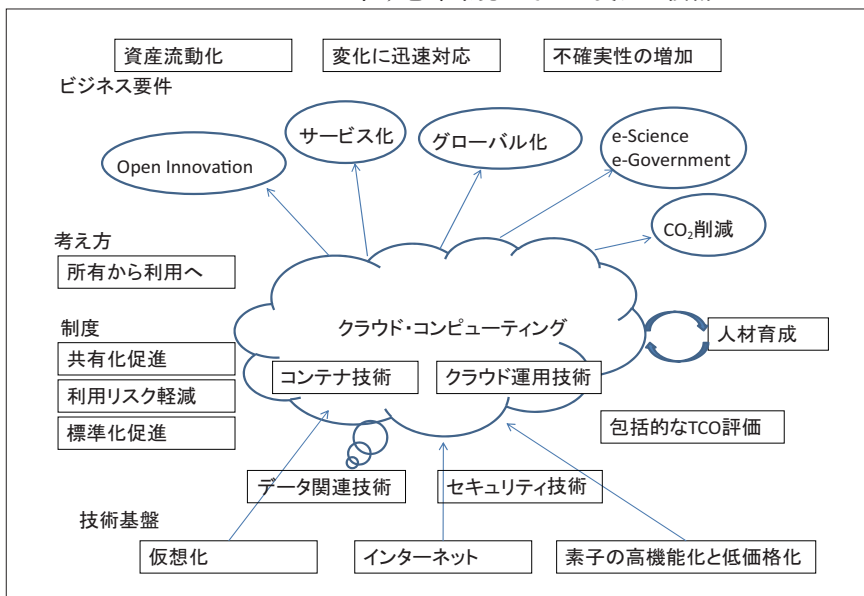
クラウドの提供するサービスはハードウェア、ソフトウェア、プログラマ向けの開発環境に対応するものがある。特徴としては、計算資源の拡張性・柔軟性、また従量制課金による初期投資が不要であることや、メンテナンスやバージョンアップなど煩雑な作業からのユーザーの解放、などがあげられる。

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

「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・サーバーなどと言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・ユビキタスネットワーク社会実現戦略—」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の

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、メモリー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。

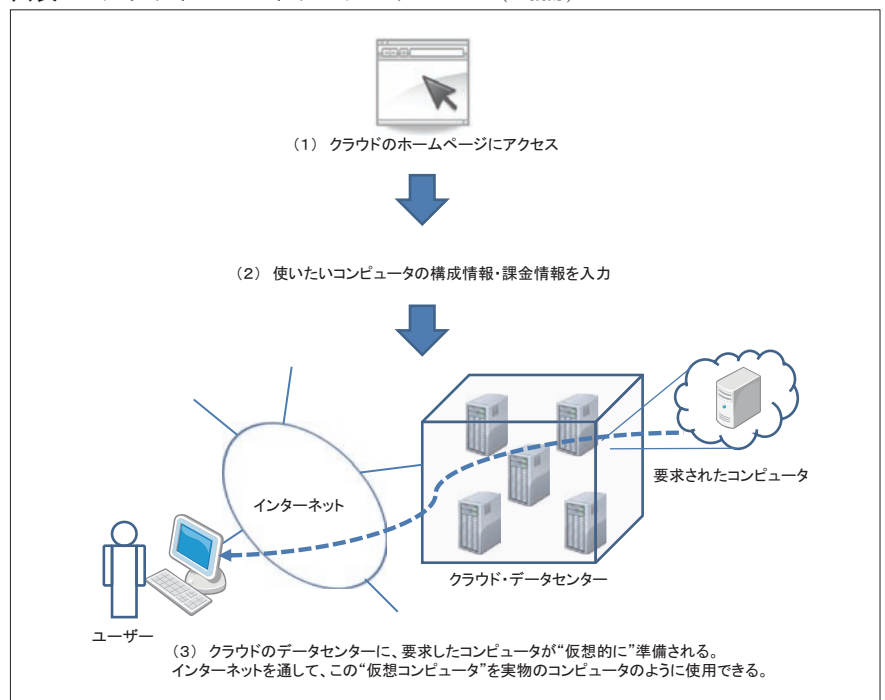
次に、図表2によりクラウド・ソフトウェア・サービス Software as a Service (SaaS)の概略を説明する。ユーザーは、クラウドのデータセンターに用意されている、メー

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。

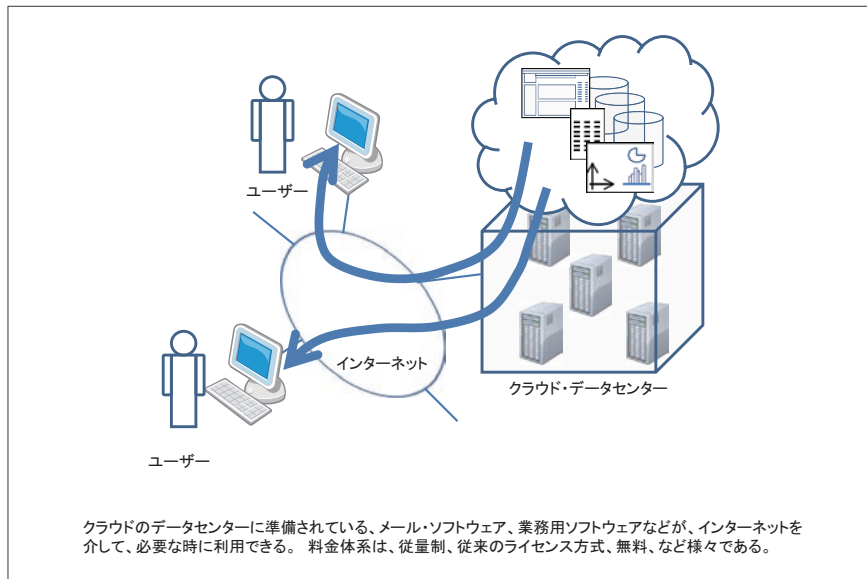
これらのクラウド・ソフトウェア・サービスを通して提供されるアプリケーション・ソフトウェアは、自分のPCに導入する必要がなく、Webブラウザを通して使えるようになっており、メモリーやストレージも必要に応じて追加される。例えばグーグル社のGmailでは、携帯電話の個人認証により、手軽に電子メールアカウントを作成して、電子メールによるコミュニケーションを行うこと

図表1 クラウド・ハードウェア・サービス (HaaS)



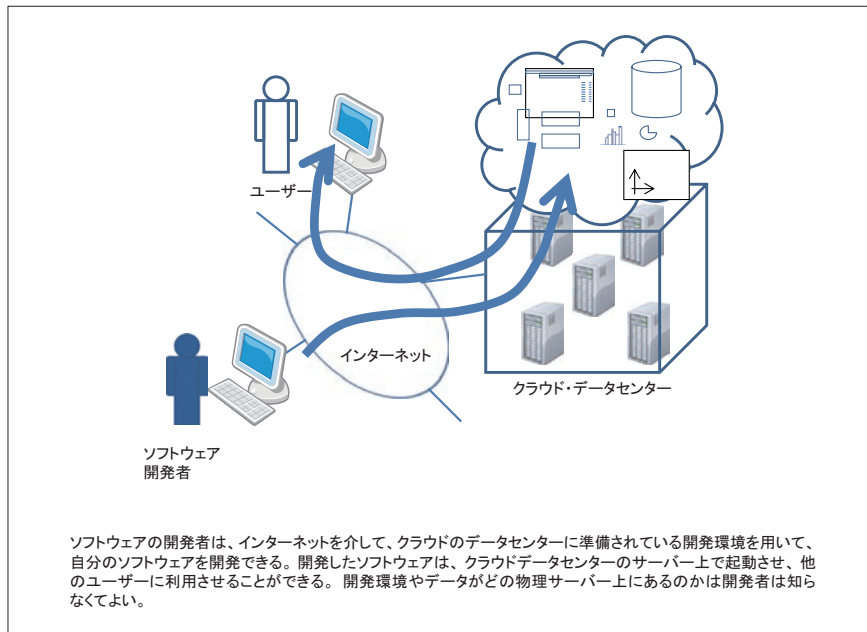
科学技術動向研究センターにて作成

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。

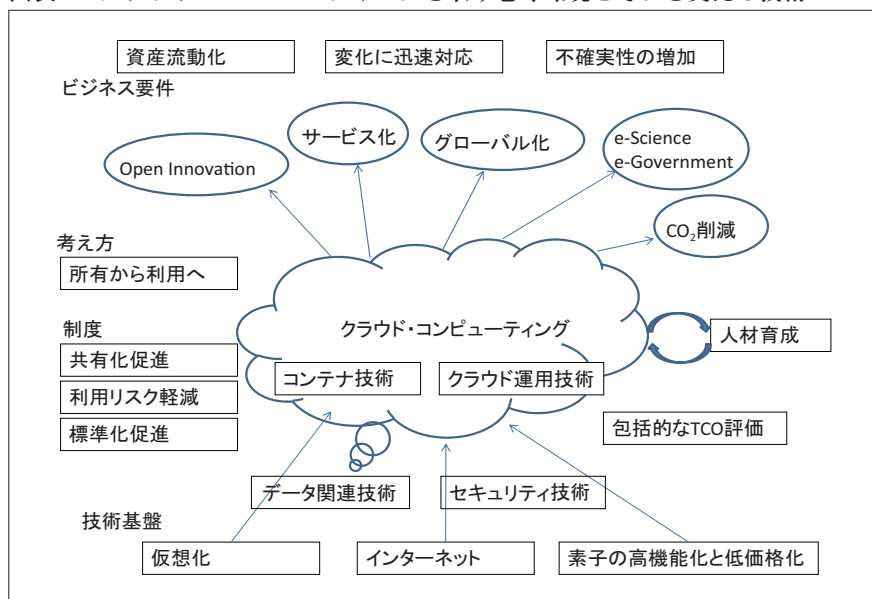
クラウドのサービスの特徴として、まず、拡張性があげられる。CPU・メモリー・ストレージなどのリソースは必要に応じて、時には自動的に、追加され、拡張される。また、不要になったら、いつでもリソースを解放し課金対象からはずせるような柔軟性も特徴となっている。ハードウェアにせよソフトウェアにせよ使った分に応じて料金が課金される従量性課金が主に採用されている。コンピュータそのものを購入するわけではないので、初期投資が極めて低いというメリットがある。また、データセンターですべてのオペレーションを行うため、メンテナンスやバージョンアップなどの複雑なコストのかかる操作からユーザーが解放されるという利点もある。

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も必要となる。

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はなく、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り、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思わ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思われる。

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考える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こし、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無くなり、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無くなり、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、法制の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る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。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〉からお金を生み出す新戦略、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 Google、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)。