

## クラウドコンピューティングの現状と課題 (4)

### 米国におけるグリーンITの状況

#### —データセンタの「グリーン化」—

石井正純 (いしい まさずみ)  
AZCA, Inc.  
静岡大学

#### 1. はじめに

グーグルで検索のために一回クリックするとどのくらいのエネルギーを消費するか、あるいはどのくらいの二酸化炭素を排出するのか？ 実際にMITメディアラボ (MIT Media Laboratory) のアレックス・ウィズナーグロス博士 (Dr. Alex Wissner-Gross) は「グーグル一つの検索で7gのCO<sub>2</sub>を排出、二つの検索でヤカンひとつが沸騰する」と試算した (これに対してグーグルは「いやいや、一つの検索によるCO<sub>2</sub>排出は0.2g程度」と反論している)。

電力をどのくらい消費しているかなど気にせず私たちが日頃使用しているコンピュータ、またクラウド・サービスを提供するために膨大な数のサーバが稼働しているデータセンタは、実は世界全体あわせるとかなりの電力を消費し、CO<sub>2</sub>を排出している。クラウドサービスは「利用者が必要なコンピュータ資源を必要なときに、必要なだけ利用できる」パラダイムであり、コンピュータ資源の集中によって環境負荷を従来に比べて軽減する効果があると言われているが、一方でクラウドサービスを提供するためのデータセンタの急激な増加により、CO<sub>2</sub>排出が急増することが懸念されるようになった。ユーザ側はその環境負荷についてはつい見逃しがちである。

本稿では無料で使い放題と思いがちのクラウド・コンピューティングを提供するデータセンタでのエネルギー消費と、データセンタの「グリーン化」あるいは「スマートクラウド」という重要な課題について、特に米国でどう取り組まれているかについて述べ、読者の注意を喚起したい。

#### 2. クラウドコンピューティングとデータセンタ

まず、クラウドサービスの構成要素について整理しておこう。米国のNIST (National Institute of Standards, Technology) ではクラウドコンピューティングを次のように定義づけている。すなわち、「クラウドコンピューティングとは、自由に設定可能な共有のコンピュータ資源 (ネットワーク、サーバ、ストレージ、アプリケーションサービス等) の集積に対する利便性の高い、オンデマンドベースのアクセスを可能とするモデルであって、最小限の管理努力や提供者とのやり取りで、迅速な提供や回収が可能なもの」。そして、①オンデマンド・セルフサービス、②広範なネットワークアクセスが可能、③資源のプール化、④需要に対して迅速で柔軟な対応、および、⑤サービスの度合いが計測できること、の五つの特性を備えている。

クラウドサービスは「サービスのレイヤー」の観点からは、大まかに言って次の構成要素からなる。

- IaaS (Infrastructure as a Service) CPU、サーバ、ストレージなどをインフラとして提供
- PaaS (Platform as a Service) さまざまなアプリケーションを稼働させるためのプラットフォームをサービスとして提供
- SaaS (Software as a Service) アプリケーションをサービスとして提供

このクラウドサービスを提供する施設がデータセンタであり、データセンタは数多くのサーバとストレージに加え、無停電電源、空調設備、耐震、防火などの防災設備、データ通信などの機能を備えた設備・建物である。グーグル、アップルコンピュータ、マイクロソフト、ヤフー、アマゾン、セールスフォース、オラクル、アイビーエムなど、クラウド

サービスを提供する代表的な米国企業は米国内に留まらず、世界各地にデータセンタを設置している。

### 3. データセンタの電力消費とCO<sub>2</sub>排出

では、クラウドサービスを提供するデータセンタの環境負荷はどの程度のものであろう？ 現在、世界のCO<sub>2</sub>排出の0.2%はデータセンタから排出されている。また、世界中のデータセンタに設置されている4,400万のサーバが世界の電力の0.5%の電力を消費しているといわれている。そして、データセンタが排出するCO<sub>2</sub>は2020年までに現在の4倍になると予想されている。米国においては、全米の電力消費量の1.5%にあたる610億KWhをデータセンタが消費しており、コストにして45億ドルにのぼるといわれている。データセンタの費用のうち、とくにエネルギーコストが毎年増加しており、2007年ではハードウェアコストの50%程度であったのが、2011年にハードウェアコストの70%以上になると予想されている。

このように、データセンタの電力消費とCO<sub>2</sub>排出は地球温暖化対策など環境保全の観点から非常に深刻な課題となりつつある。データセンタのグリーン化は企業、国を挙げて取り組まねばならない重要課題といえる。

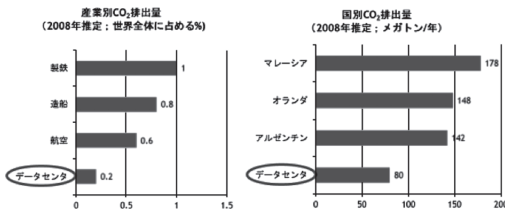


図1 データセンタのCO<sub>2</sub>排出

#### 米国データセンタのエネルギーコスト

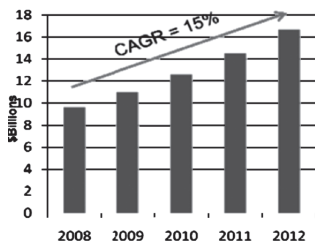


図2 データセンタのエネルギーコスト

さて、データセンタの「グリーン度」はいくつかの指標で測ることができる。これまで最も広く使われてきた指標がPUE (Power Usage Effectiveness) である。PUEは次のように定義される。

$$PUE = \frac{\text{データセンタ全体の消費電力}}{\text{IT機器による消費電力}}$$

したがって、全く無駄のない理想的なデータセンタのPUEは1.0ということになる。現実的には多くのデータセンタはPUE値が2.5程度であるが、グーグルやマイクロソフトでは1.2レベルを達成しているとしている。しかしながら、データセンタにおける単位電力あたりのCO<sub>2</sub>排出量 CEF (Carbon Emission Factor)、つまり、

$$CEF^* = \text{単位電力あたりのCO}_2\text{排出量}$$

\*CEFの単位は kgCO<sub>2</sub>eq/kWh

と定義すると、CEFが高ければ、PUEが下がることはCO<sub>2</sub>排出が下がることには自動的にはつながらない。そこで最近では、PUEに加え、CUE (Carbon Usage Effectiveness) もデータセンタの「グリーン度」を測る尺度として提唱されるようになっていく。CUEの定義は次の通りである。

$$CUE^{**} = \frac{\text{データセンタ全体の電力消費によるCO}_2\text{排出量}}{\text{IT機器による消費電力}}$$

\*\*CUEの単位は kgCO<sub>2</sub>eq/kWh

そうするとPUEとCEFの定義から、

$$CUE = CEF \times PUE$$

となる。すなわち、PUEとCUEの両方を報告することによりデータセンタのグリーン度をチェックしていこうという考え方である。

さらに、今後水資源も高価、希少になることが予想されるため、データセンタにおいて冷却のための水資源をいかに有効に使うかのベンチマークが必要ということから、WUE (Water Usage Effectiveness) もデータセンタの「グリーン度」の尺度として取り入れようという議論がなされている。

米国では2010年に4,700万ドルをさまざまな民間プロジェクトに拠出するなど、米国エネルギー省 (Department of Energy) がデータセンタの「グリー

ン化」に向けて積極的に動いている。これまで議論してきた、不特定多数のユーザに対するクラウドサービスに対するこのような公的機関の支援の必要性は容易に理解できるが、個々のユーザー企業にコロケーション・サービス（顧客の通信機器やサーバを、自社の回線設備の整った施設に設置するサービス）などを提供しているデータセンタの管理者はオペレーションの安全性、信頼性のみが人事考課の対象となることが多いため、使用電力の請求書を目にすることはほとんど無く、エネルギー・コスト削減に関しては関心が薄い、というのが一般的である。また、ユーザー顧客は自社のレガシー・アプリケーションに関しては他社とサーバをシェアしたくない、つまり、エネルギーコストの削減は二の次の問題である、というのが現実である。したがって、PUE、CUE、さらに将来的にはWUEなどの指標をデータセンタ・オペレーションに全面的に導入することが必要と考えられる。

#### 4. グリーンIT化のための手立て

このようにグリーンIT化の緊急性が高まっている米国では、次のようなさまざまな手段が取り入れられている。

- サーバー使用の効率化のための Virtualization
- 冷却や電力供給を代替エネルギーでまかなう（LCA- Life Cycle Assessmentが必要）
- データセンタでの電力消費についてのセンシティブティ向上のための規制
- 大手企業によるエネルギーコスト削減のため大きな投資

また、グリーングリッド The Green Grid ([www.thegreengrid.org](http://www.thegreengrid.org)) というコンソーシアムがあり、その概要は次の通りである。

- データセンタ及びコンピューティング・エコシステムのエネルギー効率を促進するべく結成されたグローバルコンソーシアム
- エネルギー効率化のためのユーザを中心とした実践方法及び指標の明確化、定義された指標に対するデータセンタパフォーマンスの向上を目的とした標準、測定方法、プロセス及び新しい技術の導入と促進に取り組む
- 業界のステークホルダーと協力することによ

り、データセンタのエネルギー効率を向上させるための鍵となる役割を果たす

- 180社近くの企業が参加（AMD, APC, Dell, EMC, HP, IBM, Intel, Microsoft, Oracle は理事）

#### 5. グリーンIT化プロジェクトの事例

米国ゼロックス社の子会社でこれまでイーサネットの開発、グラフィカル・ユーザー・インターフェースの開発、マウスの商業化、PDFで知られるアドビ社のスピニアウトなど数々のイノベーションを実現してきたパロアルト研究所（Palo Alto Research Center: PARC）でもデータセンタの「グリーン化」のプロジェクトを進めてきた。ここでは、PARCにおける「データセンタグリーン化」のプロジェクトを簡単に紹介する。

サーバの有効活用にはバーチャリゼーションの考え方が一般的であるが、本プロジェクトでは次の項目を目標とした。

1. 既存のバーチャリゼーション（VMWareなど）をベースにさらに細かく動的な最適化を実現する
  2. 顧客サービスの品質（QoS: Quality of Service）を維持しつつエネルギー消費を削減
  3. データセンタの収益を改善すると同時にTCO（Total Cost of Ownership）を低減
- 具体的には、低優先度のプロセスと高優先度のプロセスをダイナミックに組み合わせ、単なるバーチャリゼーションより細かくプロセサーの活用を最適化するアルゴリズムを開発した。

本プロジェクトは昨年（2010年）にパロアルト研究所からスピニアウトし、シリコンバレーのベンチャー企業パワーアシュア社（Power Assure）と共同で商業化することになった。そして、その際、米国エネルギー省（Department of Energy: DOE）から500万ドルの補助金を受けている。

#### 6. おわりに

これまで述べてきたように、クラウドコンピューティングの環境負荷については、特にユーザー側からは見逃されがちであるが、クラウドサービスを提

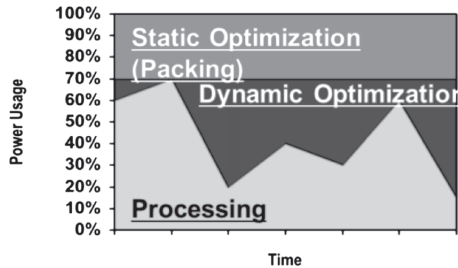


図3 動的最適化によるエネルギー消費削減

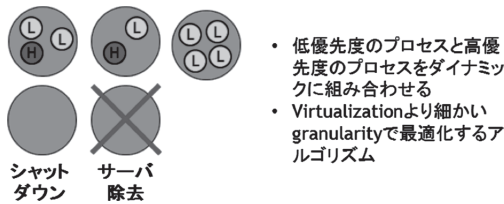


図4 動的最適化の考え方

提供するデータセンタにおけるエネルギー消費の削減、すなわち「グリーン化」は今や、火急の課題になっている。米国ではエネルギー省や民間企業からなるコンソーシアムの活動が活発で、データセンタにおけるエネルギー消費の明確な尺度の定義の導入と達成基準の設定により、その努力がなされている。もとよりエネルギーコストの高い日本ではITコストの削減と環境負荷の軽減は米国よりさらに緊急の課題であり、総務省で進めてきた「スマートクラウド研究会」の成果などを早急に実行に移していくべきであろう。

## 参考文献

- [ 1 ] NIST ホームページ、<http://www.nist.gov/itl/cloud/>.
- [ 2 ] *The Sunday Times* (January 11, 2009)
- [ 3 ] The Green Grid ホームページ、<http://www.thegreengrid.org/>
- [ 4 ] PARC (Palo Alto research Center)
- [ 5 ] PowerAssure ホームページ、<http://www.powereasure.com/>

## 略歴

石井 正純 (いしい まさずみ)

1972年東京大学学部計数工学科卒業後、1976年日本IBMからスタンフォード大学大学院に留学、コンピュータサイエンス修士号取得。1981年McKinsey & Company社に入社、情報通信、エレクトロニクス、化学品などの分野で多角化戦略、海外戦略などの経営コンサルティング活動を行う。1985年ハイテク分野での新規事業育成を目標としてシリコンバレーにAZCA, Inc. 設立。2004年より環境・エネルギー分野への投資に特化したベンチャーキャピタル会社NOVENTIに参加。2005年より静岡大学工学部大学院客員教授。Palo Alto Research Center (PARC) のシニア・エグゼクティブ・アドバイザー兼任。現在、北加日本商工会議所(2007年度は会頭)およびJapan Society of Northern Californiaの理事。IEEE、ACM、日本情報処理学会、日本OR学会各会員。