

4. ビッグデータ，スパコンを使いこなすためには

豊田 英司*

1. はじめに

今回は、ビッグデータとスパコンという大変大きなお題をいただいてしまい恐縮しております。ビッグデータというのはいわゆるパスワード、つまり学術用語ほど定義が詰められているわけではなく、時代の最先端の動向を総称的に表現する言葉です。

情報処理能力の飛躍的な向上によって巨大なデータが使われるようになったとき、それに伴って何が変わるかは応用分野によって大きく異なります。ここでは、気象の数値シミュレーションにおいてデータが大きくなることによって何が起きているか、またはこれから予想されるかについて考えてみたいと思います。

2. 対数グラフ上の未来予測

2.1 ムーアの法則など

気象の数値シミュレーションに使われる計算機システムには、演算装置、記憶装置、そして通信回線などの構成要素があります。これらはいずれもここ数十年にわたって何桁もの飛躍的性能改善がありました。

各種の指標が指数関数的に成長する状況を、物理法則になぞらえて法則と呼ぶことがあります。もっとも有名なのは「ムーアの法則」(Moore 1965)でしょう。元来「集積回路の集積度は約2年毎に2倍になる」というものですが、近年では計算機システムの演算性能に読み替えたりしたものも俗にムーアの法則と呼ばれることがあります。

他にも磁気ディスクの記録密度に関するクライダーの法則 (Walter 2005) など名前つきの「法則」が提

唱されましたが、あまり一般的ではありません。いずれにしてもこれらはもちろん本当の物理法則ではなく、実績を指数関数にあてはめたものに過ぎませんから、いつかは物理法則上の限界に達して成長が鈍化してゆくこととなります。

多くの読者にはムーアの法則がいつまで続くか、より正確には計算機システムの演算性能の指数的成長がいつまで続くかが最大の関心事と思います。集積度は頭打ち傾向ですが、より並列度の大きなシステムを作ることによってシステム全体の性能は対数グラフ上でほぼ直線の成長を続けています。その限界を占うのはしかるべき専門家に譲ります。しかし、日本や外国で今動いているプロジェクトを見る限り、当面は演算性能のより大きな計算機が作られると考えてよいでしょう。

2.2 遠距離通信帯域のトレンド

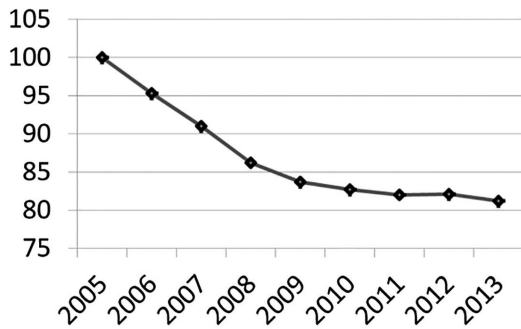
筆者は情報通信基盤の整備に関する仕事をしていて、近年とみに実感を深めていることは、情報通信システムを設計するときの制約となるのが、演算性能よりも通信となりつつあるということです。通信といっても短いほうはスーパーコンピュータのノード間やプロセッサの間の通信もあってそれはそれで問題ですが、今回は他の講演者に譲ります。今問題にしたいのは長いほう、たとえば東京～大阪間のような遠距離通信の帯域 (時間あたりに伝送できる情報量、単位はbps (ビット毎秒)) です。

遠距離通信の帯域は1990年代前後に銅線から光ファイバーへの転換により飛躍的な進歩がありました。当時はギルダーの法則「通信網は演算能力の3分の1の期間で2倍に成長する」(Gilder 2000) のように極端なことが語られました。その傾向のままならば10年で数万倍になるはずですがそこまで長続きはせず、現在ははるかに落ち着いた状態になっています。

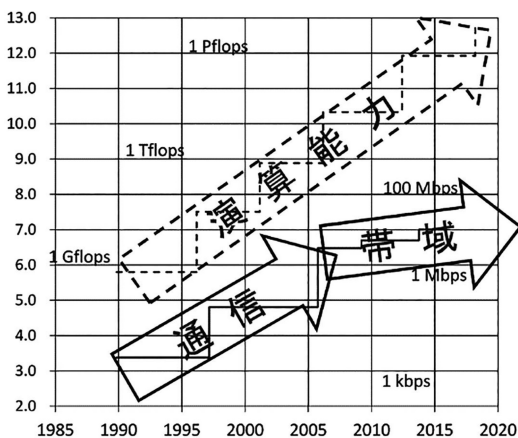
* 気象庁予報部業務課 (現在の所属：気象庁総務部企画課) toyoda@met.kishou.go.jp

具体的な動向は、通信サービスの種類や国、あるいは価格を加味するかによって大きく異なった見方が可能です。楽観的な例としては、たとえば米国の消費者向けインターネット接続については30年近くわたって年率50%の成長が続いているという報告 (Nielsen 2014) があります。

一方、日本で業務用の通信基盤に使うような WAN (wide area network; 広域網) サービスについて価格込みの話をするならそう容易ではありません。この種のサービスの価格は個別の協議によって決まるため、市場動向の公表情報が非常に少ないのですが、企業向けサービス価格指数 (日本銀行 2014) によると、2009年頃から価格が下げ止まっています (第1図)。



第1図 WAN サービス価格の推移 (2005年から2013年, 2005年=100とした指数). 日本銀行 (2014) により豊田が作図.



第2図 気象庁のスーパーコンピュータの演算能力 (kFlops, 破線) と業務システムでの代表的な遠距離通信回線速度 (bps, 実線) の推移 (対数グラフ).

わかりやすくいいかえると、予算一定を前提にすれば通信基盤の増速が難しくなっており、データの生産元である演算装置が増強を続けているのと比べれば差が開いていきかねないのです。

一例として、第2図に気象庁のスーパーコンピュータシステムの理論演算性能 (データ生産元の例) と通信回線の典型的な速度を示します。2005年を境に通信回線の増速のペースが明瞭に鈍っていることが読み取れます。

3. クラウド化の流れ

3.1 集中と分散の交代史

計算機システムの歴史は集中と分散の交代である、としばしば言われます。データ科学に限らない一般のITの動向をまず確認しておきましょう。

メインフレームが主役だった1980年代くらいまでは、最初の集中の時代です。計算機はホストコンピュータと呼ばれるごく少数の大規模な施設で、利用者はそこに訪ねていくか、今からみれば機能の制約された文字端末から操作するものでした。

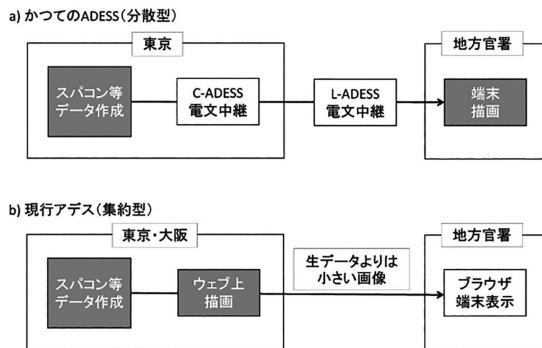
1990年代になるとクライアントサーバシステムと呼ばれる分散処理の時代になります。各利用者の手元には端末ではなくワークステーション (後には PC) が置かれ、そこでプログラム (クライアント) が動作し、必要に応じてネットワーク上のサーバと通信してデータを送受信するものです。このような構成が可能になったのは、演算能力とネットワーク両方の発達のおかげとされています (IPA 2011)。

ここから再び集中のトレンドです。

現象としてはクライアント側の単純化が進んでいます。まず1990年代中頃から、Webの普及により、クライアントのソフトウェアはブラウザだけでよくなりました。最近では端末装置としてPCの代わりにスマートフォンやタブレット端末が普及しています。これらの動きを通じて、利用者の直接接触の端末は表示や入力処理に専念して、データをサーバ側に置き、処理もなるべくサーバ側で行うようにする変化がみられます。

たとえば気象庁では分散処理システムだったADESS (Automated Data Editing and Switching System) が、2005年から2007年にかけて更新された際にはウェブベースの集約型に変わるということがありました (第3図)。

話を一般論に戻して、集約が合理的となる理由は場



第3図 かつてのADESSにおける分散処理と現行アデスにおける集約処理の対比。切替は2005年から2007年にかけて行われた。

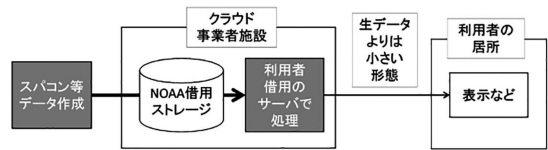
合によりませんが、スーパーコンピューティングのようにテラバイト (TB)・ペタバイト (PB) 単位の巨大データを扱うときは、遠距離通信帯域の制約が大きな要因です。たとえば10 TBのデータが発生して、100 Mbpsの通信回線で伝送してから後処理に入るなら約10日待つ必要がありますが、後処理を行う計算機をデータ発生場所の近くに設置することができるなら、WANより2～3桁高速なLAN (local area network; 建物内程度の短距離用の通信技術) を使って待ち時間を短縮できます。

つまり、ストレージや演算能力といった資源をネットワークの向こうに集中できるならば、機器を自ら所有せず、専門の業者から借りるほうがしばしば効率的となります。クラウドコンピューティングとはこのように資源をネットワーク経由で借りるスタイルのことを通常さします。

3.2 科学界でのクラウド化の実例

計算機システムが集中に向かう流れは、クラウド化の波と言ってもいいですが、気象学を含むデータ科学にも及ぶことになるでしょう。前項でみたように、演算能力の進歩や新たな地球観測衛星などでデータ作成能力はまだまだ伸びますが、ネットワークはそれほど速くはなりそうもないからです。これは何も筆者の発見ではないので、すでにいろいろ動きがでています。

NOAA (米国大気海洋庁) は2015年4月に、クラウド事業者で構成するOpen Cloud Consortium (OCC) および加盟4社 (アマゾン、グーグル、IBM、およびマイクロソフト) とデータ利用法を研究するための「ビッグデータプロジェクト」を開始し



第4図 NOAA「ビッグデータプロジェクト」の概念図。NOAA発表資料をもとに豊田が作図。

たと発表しました (U.S. Department of Commerce 2015)。

NOAAにとってこれは主に民間を念頭に置いたデータ提供形態のひとつです。さまざまなデータをOCC加盟各社のクラウド・ストレージサービスに置くところまでをNOAAが担当し、データ利用者は同じ施設内の計算機を借りて処理することで、高価な遠距離通信を使わずに大容量のデータが多数の利用者に提供できる、という発想です (第4図)。

日本国内では、たとえばひまわり8号の観測データの研究コミュニティ向け提供に東京大学のDIASや情報通信研究機構のNICTサイエンスクラウドなどのご協力をいただいているところです。これらのプロジェクトはNOAAの例と違って研究機関向けですが、全国の研究機関から参加した利用者が共通インフラ上のストレージや演算能力を利用するクラウド構成が共通します。

皆さんご自身の新しいデータについて類似の構成を立ち上げようとするところがあるかもしれません。そのための道具も現れてきています。国立情報学研究所のSINETでは色々な民間事業者と直接接続をしており、ストレージやサーバを借りることもできます (IaaS=Infrastructure as a Service といいます) し、メールサーバのような組みあがったサービスを借りる (SaaS=Software as a Service といいます) こともできるようになってきています (国立情報学研究所 2015)。

4. クラウド時代のユーザインターフェイス

4.1 帯域についても人間は万物の尺度

前述のように、通信帯域に着目してクラウド化が経済的になるためには、データ処理をひとつの施設 (IT 方面ではデータセンターといいます) が、科学界では特定分野のデータを収集分析する組織と誤解されそうなので避けます) の中に地理的に集中させて、利用

者に情報を届けるのに必要十分な通信帯域の上限を見極めなければなりません。しかし、本当に帯域の見極めが可能なのでしょうか。

この問いはしばしば頂きます。むろん贅沢を考えればきりがありますが、突き詰めていうと人間の五感で知覚できる情報量の限界が自然な上限を与えてくれます。

たとえば一般に大きな帯域を消費する動画について考えます。視力1.0は解像度1分角に相当します。視野角20度四方ならば1200×1200画素、それぞれに毎秒10フレームの24ビット画像を表示してコマ送り動画を見せるならば、350 Mbpsに相当します。実際には隣接フレームの類似性で何桁か圧縮が可能ですので、数Mbpsの帯域で伝送されるネット動画でけっこう満足できるわけです。

同じデータを参照する利用者が多い場合は、利用者数に比例したネットワーク負荷がかかってしまうわけですが、それを軽減する技術が注目されます。

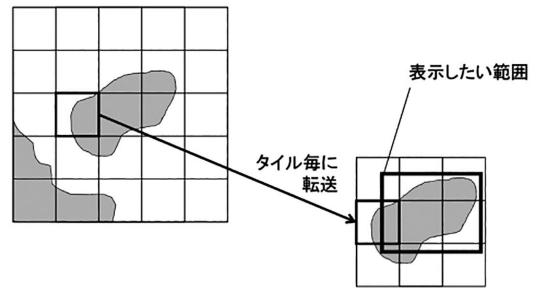
4.2 キャッシュの効く地図サービスの例

上述の利用者数に応じたネットワーク負荷を軽減する技術がすでに開発されている良い例はウェブ地図です。

二次元図形によるデータ可視化のうち、二つの次元が水平面内にとられていて図郭（図が表わす領域）が地表に固定されているものを地図といいます。

第3.1節で述べたウェブ化された情報システムでは、地図描画というのは要するにデータからブラウザ向きの画像ファイルを作成することです。仕様やソフトウェアを共通化すると管理が楽なので、ウェブ上から投影法や図郭の位置を指定すると、地図の画像を返すというウェブアプリケーションの標準WMS (Web Map Service) がOpen Geospatial Consortium (OGC) によって作られ、地理情報技術界では2005年頃から大いに普及しました (de la Beaujardiere 2006)。

巨大なデータからディスプレイ程度の大きさの画像ファイルが出来るなら、通信帯域の節約にはなりません。しかし、異なる利用者が異なる図郭をリクエストするならば、利用者数に比例した演算負荷がかかります。そこで、世界をあらかじめ正方形の領域（タイル）で分割してそれぞれの地図を描画しておき、利用者は必要な範囲のタイルを取得して張り合わせて表示するという技法（タイリング）が近年一般的になってきています（第5図）。



第5図 タイリングの概念図。

タイルは利用者のリクエストを待たずに事前に生成しておくことができ、他の利用者に使いまわすことができます。ウェブサイトを適切に設計しておけば、キャッシュサーバを併用することによって膨大な利用者をさばけるのです。そのためにタイリングはGoogle Mapsなどの商用地図サイトではじまったのですが、今では国土地理院の地理院地図や気象庁の高解像度降水ナウキャストホームページでも同種の技術が利用されています。仕様としてはOGC標準 (Masó *et al.* 2010) の他に事実上の標準があり、今後の動向が注目されます。

世界気象機関 (WMO) はOGCと覚書を結び、OGC大気海洋分科会 (Met-Ocean Domain Working Group) を設立して上述のようなウェブ地図の技術標準を気象・海洋分野に応用する際の細則を議論しています (McKee 2010)。これは、データの巨大化によってウェブ地図が基礎的な技術になるという予測にたったものです。

研究目的では地図に限らず多様な方向の2次元断面図が用いられますが、一般論として可視化の技術は巨大なデータを扱うときの利用者側で共通して用いられる道具であり、ネットワークが比較的遅い時代に適合した知見を共有する価値があります。

5. おわりに

データが巨大であるがために、そのデータが生み出された施設から全体を取り出すことができないということが、これから当然になる時代が来るとして、少々想像をたくましくしてみましょう。

ここでは、当該データに関心を持った研究者はすべて当該施設を利用しなければなりません。すると、施設の利用条件や、データが何年保存されるかなどの組織的側面が気になることでしょう。

現在過去にあるものでたとえると、次のような類型が考えられます。

図書館型：内容を問わず、データを長期に保存することに主眼をおく施設（理学系の方はこれをデータセンターと呼ぶことでしょう）。利用者は可能な限り広く開かれることを理想とする。一般教養や専門基礎の教育機関と併設することが考えられる。

計算センター型：計算能力に主眼をおく施設。利用目的は問わない。計算技術の教育機関の性格を兼ねることが考えられる。

特定目的実験施設型：計算能力と長期保存データのどちらに主眼を置くかを問わず、特定の目的のために設けられる施設。利用者は目的に沿うかどうかで選別される。

これらのどれが正しい等ということではなく、それぞれの役割があります。また、実際には個別の施設は上記3類型を組み合わせた性格を持つでしょう。

いずれにしても、気象学でスーパーコンピューティングが使われる以上は、ビッグデータを扱う施設としてはどのようなものが作られるか、またそこで整備される共通の道具は気象学に都合のよいようになっているか、などといったことに興味をもたれるとよいと考えます。

（おことわり）

気象庁外の事業については個別に取材していませんので、気象庁または筆者は、上述の個別の技術やサービスをお勧めするものではありません。利用の際はご自身でご確認願います。

謝 辞

今次シンポジウムに招待して下さった三好先生をはじめとして、本講演という貴重な機会を可能にしてくださったすべての方に謝意を表します。

参 考 文 献

- de la Beaujardiere, J. ed., 2006: OpenGIS Web Map Server (WMS) Implementation Specification. Version 1.3.0, OGC 06-042. Open Geospatial Consortium. Also known as ISO 19128:2005.
- Gilder, G., 2000: Telecosm: How Infinite Bandwidth Will Revolutionize Our World. The Free Press, New York, 372pp.
- IPA, 2011: OSS モデルカリキュラム V2. 1-4 「システムアーキテクチャに関する知識」. <https://www.ipa.go.jp/files/000018474.pdf> (2015.8.20閲覧).
- 国立情報学研究所, 2015: SINET5ホームページ「サービス提供機関リスト」. https://www.sinet.ad.jp/service_provider/service_providers_list (2017.2.6閲覧).
- Masó, J., K. Pomakis and N. Julià, 2010: OpenGIS Web Map Tile Service Implementation Standard. Version 1.0.0, OGC 07-05r7. Open Geospatial Consortium.
- McKee, L., 2010: OGC and World Meteorological Organization to Collaborate on Meteorology Standards. OGC Press Release, 1 February 2010. <http://www.opengeospatial.org/pressroom/pressreleases/1129> (2015.9.1閲覧).
- Moore, G.E., 1965: Cramming more components onto integrated circuits. *Electronics*, **38**, 114-117. Reprinted in *Proc. IEEE*, **38**, 82-85.
- Nielsen, J., 1998: Nielsen's Law of Internet Bandwidth. <http://www.nngroup.com/articles/law-of-bandwidth/> (2017.2.6閲覧).
- 日本銀行, 2014: 企業向けサービス価格指数(平成17(2005)年基準, 消費税除く).
- U.S. Department of Commerce, 2015: U.S. Secretary of Commerce Penny Pritzker announces new collaboration to unleash the power of NOAA's Data. <https://www.commerce.gov/news/press-releases/2015/04/us-secretary-commerce-penny-pritzker-announces-new-collaboration-unleash> (2015.8.20閲覧).
- Walter, C., 2005: Kryder's Law. *Sci. Amer.*, 1 August 2005, 7-25.