

Science & Technology Trends

科学技術動向

11
2009
No.104



レポート

p2.9 研究と実践のはざま
—東海地震予知をめぐる—

p3.22 数値シミュレーションにおけるソフトウェア研究開発の動向
—並列分散型のハードウェアとソフトウェア自動チューニング—

トピックス

ライフサイエンス分野

p4 国際協力により皮膚弛緩症の原因遺伝子を同定

環境分野

p6 高耐熱バイオプラスチック生産実証プラントが稼働

フロンティア分野

p8 ビームステアリング技術を用いた合成開口海中ソナー

情報通信分野

p5 ぶつからずに群走行するロボットカー

ナノテク・材料分野

p7 高強度鋼を用いた大地震でも無損傷な建築物のプロジェクト

Science & Technology Trends

科学技術動向 11 /2009



2009年11月号 第9巻第11号/毎月26日発行 通巻104号 ISSN 1349-3663



文部科学省 科学技術政策研究所
科学技術動向研究センター

2009
No.104

11

Science&Technology Trends

科学技術動向

今月も「科学技術動向」をお届けします。

科学技術動向研究センターは、約 2000 名の産学官から成る科学技術人材のネットワークを持ち、科学技術政策において重要な情報あるいは意見の収集を行い、また科学技術予測に関する活動も続けております。

月刊「科学技術動向」は、科学技術動向研究センターの情報発信手段の一つとして、2001 年 4 月以来、毎月、編集・発行を行っています。意識レベルの高い科学技術関係者の方々、すなわち、科学技術全般に関して広く興味を示し、また科学技術政策にも関心をお持ちの方々に読んでいただけるものを目指しております。「トピックス」では最近の科学技術および政策から注目される話題をとりあげ、また、「レポート」では各国の動向や今後の方向性などを加えてさらに詳しく論じています。これらは、科学技術動向研究センターの多くの分野のスタッフが学際的な討議を重ねた上で執筆しています。「レポート」については、季刊の英語版の形で海外への情報発信も行っています。

今後とも、科学技術動向研究センターの活動に有効なご意見を読者の皆様からお寄せいただけることを期待しております。

文部科学省科学技術政策研究所
科学技術動向研究センター センター長
奥和田 久美

このレポートについてのご意見、お問い合わせは、下記のメールアドレスまたは電話番号までお願いいたします。

なお、科学技術動向のバックナンバーは、下記の URL にアクセスいただき「科学技術動向・月報一覧」でご覧いただけます。

文部科学省科学技術政策研究所 科学技術動向研究センター

【連絡先】〒100-0013

東京都千代田区霞が関 3-2-2 中央合同庁舎第 7 号館東館 16 F

【電話】03-3581-0605 【FAX】03-3503-3996

【URL】<http://www.nistep.go.jp>

【E-mail】stfc@nistep.go.jp

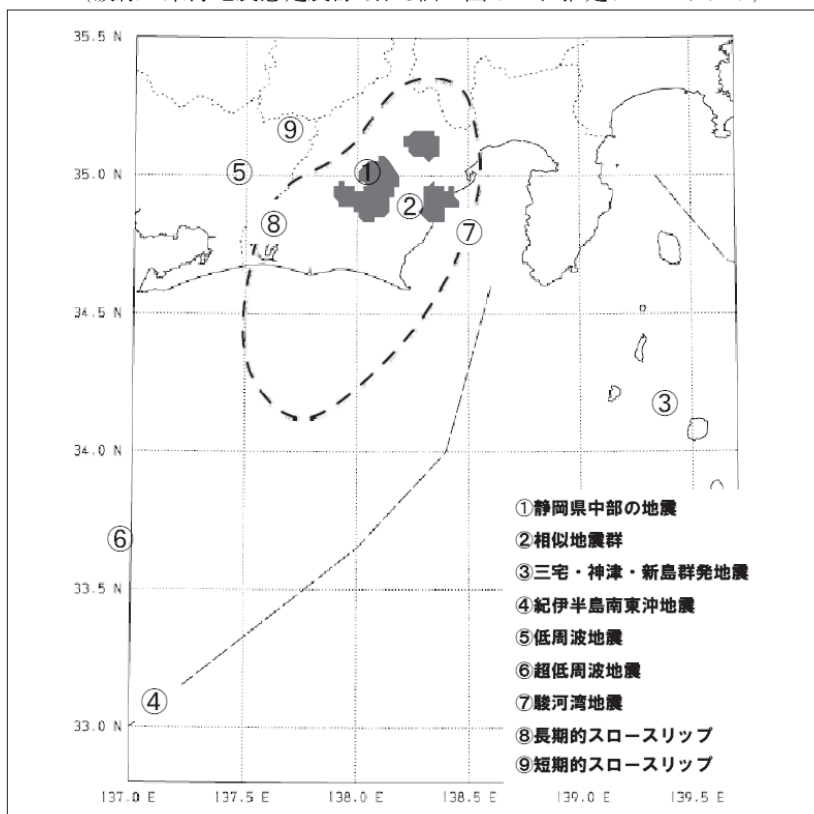
研究と実践のはざま —東海地震予知をめぐる—

30年以上も前から「いつ起きてもおかしくない」と言われ続けてきた東海地震であるが、このごろでは、単独では起きない故、暫くはむしろ安泰であろうという空気が広まっていた。このような中、2009年8月11日、駿河湾にM6.5の地震が発生し、東海地震の雲行きが俄かに騒がれるようになった。

地震予知の実践は、1979年気象庁に東海地震を対象とした判定会が設置されたことに始まる。当初の実践体制は、研究成果がストレートに反映されたものであり、研究と実践の関係は、大きくずれてはいなかった。ところがこの10年間で、東海地域には当初予期されなかった多くの事象が発生し、また、予知の論拠を覆しかねない新説が相次いで発表された。判定会による直前予知は、プレスリップ（地震としての高速滑りに先行する低速助走滑り）の検出に依拠しているが、プレスリップの存在自体にも疑問符が付される状況である。こうして、最初は同一線上にあったはずの研究と実践の位置づけが徐々に乖離し、双方のはざまは、もはや単純な里程の差では測れなくなっている。

直前予知に焦点を合わせた判定会の役割は現在もなお明確であるが、一方で、東海の状態の複雑さを顧みれば判定会の守備範囲は限定的であるとも言える。「東海地震予知に関する研究と実践のはざま」を意識するならば、判定会とは異なる立場にある研究者の果たすべき役割は大きい。幅広い推論とそれをめぐる議論の盛んになることが期待される。

図表 最近10年間で東海地域周辺に起きた異常事象や新たに発見された事象
(破線は東海地震想定震源域、3個の囲みは、推定アスペリティ)



科学技術動向研究センターにて作成

数値シミュレーションにおけるソフトウェア研究開発の動向 — 並列分散型のハードウェアとソフトウェア自動チューニング —

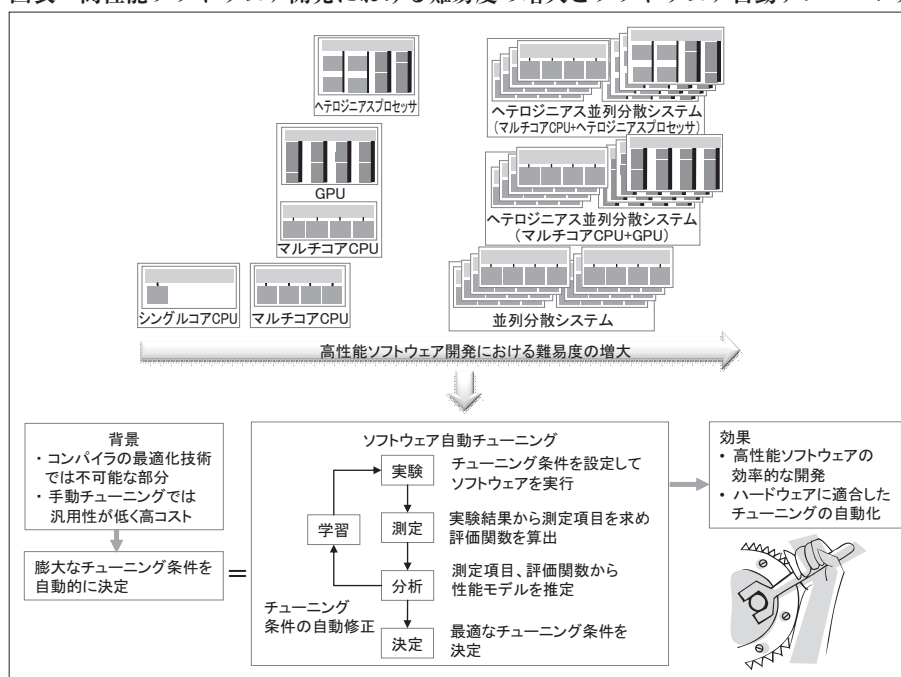
コンピュータの性能向上は、CPU（中央演算処理装置）の動作周波数の向上に依存してきたが、発熱・消費電力やリーク電流増大の問題で頭打ち傾向になった。そのため、近年では、マルチコアプロセッサを用いた並列処理によるコンピュータの性能向上が中心課題とされている。

並列化されたハードウェアの性能を引き出すためには、ハードウェアアーキテクチャに合わせた計算アルゴリズムを選択し、実効効率が向上するようにプログラムを調整しなければならない。この作業はソフトウェアチューニングと呼ばれ、高性能なソフトウェア開発では不可欠な要素である。しかし、ハードウェアアーキテクチャの複雑化により、実効効率の高い数値シミュレーションソフトウェア開発は格段に難しくなっている。

そうした背景から、ソフトウェアの自動チューニング技術を基盤技術として実用化する提案がなされている。ソフトウェア自動チューニングとはハードウェアに合わせたソフトウェアの調整を自動的に行い、実効効率を向上させることである。現在は、行列演算などの数値計算ライブラリを中心にソフトウェア自動チューニングの研究と応用が進められているが、一般の数値シミュレーションで応用するには未だ研究課題は多い。

日本国内では米国と比較しても遜色のない研究が行われていると思われるが、研究から最終的な数値シミュレーションへの応用、実用化までのロードマップ作成や研究者間での役割分担やリソース共有を十分に行っていない。特に今後、日本国内の研究組織には、基盤技術研究と応用研究を効率的に行うための研究マネージメントの再考を期待したい。

図表 高性能ソフトウェア開発における難易度の増大とソフトウェア自動チューニング



参考文献 9、20、26、30～33) を基に科学技術動向研究センターにて作成

シンガポール、ドイツなど13カ国、15施設の病院が研究チームを組織し、老化様現象が急速に進行する皮膚弛緩症の発症原因が、PYCR1遺伝子の変異にあることを突き止めた。皮膚弛緩症は、患者数が全世界に非常に少なく、原因の解明が困難であったが、この共同研究により、すべての患者の特定のPYCR1遺伝子に変異があり、これが発症の原因であると判明した。PYCR1遺伝子はアミノ酸の1つであるプロリンの生合成に関与しており、皮膚弛緩症でみられる老化様現象は、代謝異常と深く関わることが示唆された。この遺伝子は老化様現象が進行する過程でのミトコンドリアの形状にも深く関与していることから、正常な加齢における老化共通の課題を説明する鍵にもなる可能性があるとして期待される。今回の国際共同研究の成功は、希少な遺伝病の病因解明の今後の研究の方向性を示したものである。

トピックス / 国際協力により皮膚弛緩症の原因遺伝子を同定

シンガポールのAgency for Science, Technology and Research (A*STAR)のInstitute of Medical Biology (IMB)のReversade博士らの国際研究チームは、皮膚弛緩症 (autosomal recessive cutis laxa) として知られる遺伝子疾患の原因が、PYCR1と呼ばれる1つの遺伝子の変異に起因することを突き止めた。

この研究は、シンガポール、ドイツをはじめとする13カ国、15施設の病院が研究チームを組織し、皮膚弛緩症患者22家系計35患者の遺伝子サンプルを分析することによって行われた。

皮膚弛緩症は、通常生後6ヶ月から2年という幼年期に発症し、皮膚のたるみやしわの増加、骨密度の減少、頭髮脱毛という老化様現象が急速に進行することで知られている。患者数は全世界でも非常に少なく、遺伝子の変異が原因であることが判っているが、どの部位の変異によって起こるのか、複数遺伝子の変異か単独遺伝子の変異かなどの詳細は、わずかな患者の症例研究での解明は困難である。今回、シンガポール、ドイツをはじめとする、患者を抱える世界の臨床施設が研究チームを組み、より多くの症例を集めることによって、初めて解析が可能になった。

その結果、すべての皮膚弛緩症患者の第17番染色体上にあるPYCR1遺伝子の数ヶ所に変異があり、これが発症の原因であることが判明した。さらに、PYCR1遺伝子は、正常細胞内のミトコンドリアで発現していることが確認され、患者の変異したPYCR1が発現するとミトコンドリアの形状が大きく変化し、細胞死が誘導されるというメカニズムによって発症すること

が見出された。

PYCR1遺伝子はアミノ酸の1つであるプロリンの生合成に関与している。PYCR1遺伝子の変異が皮膚弛緩症の原因となっていることから、皮膚弛緩症でみられる種々の老化様現象は、代謝異常と深く関わることを示唆される。

PYCR1遺伝子は細菌、植物、昆虫、脊椎動物などに広く存在している。そこで、魚のパラバイオーシス (併体接合) モデルを作製し、実験に用いた。パラバイオーシスモデルとは、遺伝子の正常個体と異常個体が同一循環器系を持って繋がった状態の実験動物である。この系で正常個体とPYCR1遺伝子欠損させた個体の成長過程へ及ぼす影響を比較した結果、正常個体でも皮膚細胞のミトコンドリアの機能が顕著に変化し細胞死が増加することとともに、骨の成長の抑制や骨密度の低下することが観察され、PYCR1遺伝子が皮膚弛緩症の原因遺伝子であることが証明された¹⁾。

論文の中で研究者らは、この遺伝子は老化様現象が進行する過程でのミトコンドリアの形状に深く関与していることから、正常な加齢における老化共通の課題を説明する鍵にもなる可能性があるとして示唆している。

シンガポールのA*STARは、希少な症例のサンプルを国際研究により統合した結果初めてもたらされた成果であると、その研究意義をプレスでコメントしている²⁾。この国際共同研究の成功は、希少な遺伝病の病因解明に、国際的協力が有効な方法であることを示したものであり、今後の研究の方向性を示すものと言えよう。

参考

- 1) Reversade B. et al., Mutations in *PYCR1* cause cutis laxa with progenoid features, *Nature Genet.* 41, 1016–1021 (2009)
- 2) Press release 1 Sept. 2009 SCIENTISTS UNLOCK SECRET TO YOUTHFUL SKIN
http://www.news.gov.sg/public/sgpc/en/media_releases/agencies/astar/press_release/P-20090901-1/AttachmentPar/0/file/Press%20Release_IMB_Nature%20Genetics_1Sep09.pdf

日産自動車(株)は、2009年10月、ぶつからずに群走行するロボットカーの技術を発表した。センサー技術に周囲状況の認識判断技術を組み合わせて、複数の車がぶつからずに群走行するようにした。認識判断アルゴリズムには、群れをなして泳ぐ魚の習性から抽出した行動ルールを用い、車からの距離に従って3種類のエリアを設けてそれぞれに異なる行動ルールを適用する。制御動作もエリアの大きさ・形状も実際の車の走行特性や衝突余裕時間を考慮して定める。現在、7台までの群走行を実現している。車とロボットを融合する技術により、運転者の負担が軽減され、事故防止のほか、効率的な運転や渋滞緩和への効果が期待される。

トピックス 2 ぶつからずに群走行するロボットカー

日産自動車(株)は、ぶつからずに群走行するロボットカーを CEATEC JAPAN 2009 (10月6～10日開催)で技術発表した¹⁾(図表1)。ロボットカーが2種類のセンサーを使って周囲の車や障害物を把握し、無線通信を使って周囲の車の速度や旋回方向などほかの車の走行情報を得て、衝突や接触することなく群れをつくって走行する。ロボットカーは高さ約50cm、重量約13kg、最高時速1.4km/hで広い場所における群走行から狭路走行に移り、また障害物を回避して走行することが可能である。現在、7台までの群走行が実現している。

周囲状況の認識判断アルゴリズムに、群れをなして泳ぐ魚の習性から抽出した行動ルールを用いている。行動ルールは、衝突回避、並走(距離を一定に保つ)、近接(仲間から離れすぎたときに近づく)の3種類であり、車からの距離に従って3種類のエリアを設けて異なる行動ルールを適用する(図表2)。ほかの車や道路、障害物の検知には、魚の視覚と側線感覚に対応させて2種類のセンサーを使い分ける。ごく近距離の衝突回避には側線感覚に相当するセンサーとしてレーザーレンジファインダーを、並走や離れた車の位置を把握する視覚に相当するセンサーとしてUWB(超広帯域)無線を、用いる。また、UWB無線では近傍の車間でデータ通信も行い、ほかの車の速度や旋回方向などの走行情報を得て、群走行に用いる。各エリア内での回避量や追従の仕方などの制御動作は実際の車社会における車の動きを考慮して、また、各エリアの大きさや形状は車速に依存するTTC(Time to Collision: 衝突余裕時間)に基づいて、決められた。

近年、進められている車とロボットを融合する技術の1つである。このような技術が実用化すれば、運転

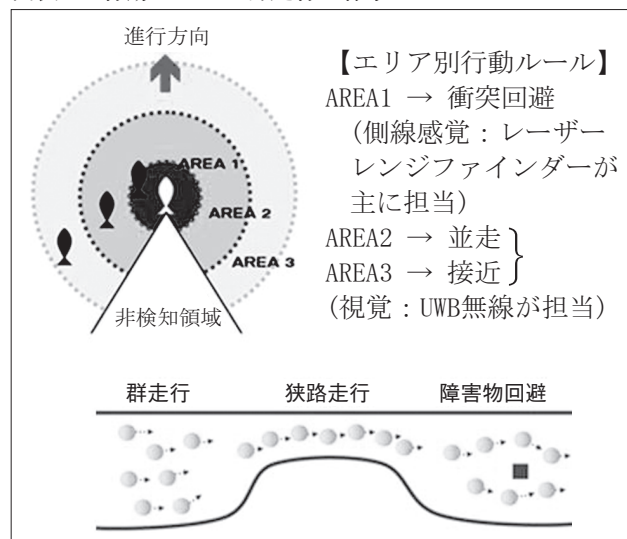
者の負担を軽減する安全で効率的な運転が可能となり、交通渋滞の緩和や事故防止の効果が期待される。

図表1 ぶつからずに群走行するロボットカー



出典：参考文献¹⁾

図表2 行動ルールと群走行の様子



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) 日産自動車株式会社 ニュースリリース：日産自動車「CEATEC JAPAN 2009」出展概要 2009年10月1日

2009年9月17日、帝人(株)は高耐熱バイオプラスチック生産実証プラントの稼働を発表した。ポリ乳酸は、植物由来の原料から製造できるカーボンニュートラルなプラスチック素材として注目されている。同社は、従来のポリ乳酸の課題であった耐熱性や耐加水分解性などを改善した高耐熱ポリ乳酸を開発し、ポリブチレンテレフタレートと同等の耐熱性を実現した。年産200トン規模のパイロットプラントを用いて研究開発を進めてきたが、今回、1,000トン規模の実証プラントを稼働させた。今後、実用規模での生産技術を確認した上で、2011年には年産5,000トンを目指す。地球温暖化問題に対応するため、脱石油依存を進める技術が求められる一方、食料と競合せずに安定して入手できる原料の探索が必要である。

トピックス 3 高耐熱バイオプラスチック生産実証プラントが稼働

地球温暖化問題に対応するため、脱石油依存が進められている。その中で、従来の石油系プラスチックに代わる素材として、植物由来の原料から製造できるカーボンニュートラルなプラスチック素材であるポリ乳酸が注目されている。しかし、耐熱性や耐加水分解性などの観点から、用途が制限されるため、石油系素材との混合などにより、その機能向上が図られていた¹⁾。

2009年9月17日、帝人(株)は、高耐熱バイオプラスチック生産実証プラントの稼働を発表した²⁾。

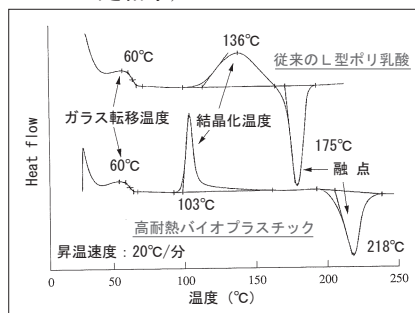
同社が開発した高耐熱ポリ乳酸では、従来のL型ポリ乳酸ポリマーと、その光学異性体であるD型ポリマーが対となる、ステレオコンプレックス構造と呼ばれる強固な結晶構造を安定的に形成することで、課題であった耐熱性を改善した。高耐熱ポリ乳酸の融点は210℃と、従来のポリ乳酸より40℃高く、一般的な耐熱プラスチックであるポリブチレンテレフタレートと同等な耐熱性を有している(図表1)。これにより、フィルムや樹脂などの高温成形プロセスへの適合や繊維製品のアイロンがけも可能となる(図表2)。また、従来のポリ乳酸は、高温・高湿度環境においてポリマーが加水分解を起こしやすく、使用条件に制約があった。同社の保有するポリマー技術に加え、分子レベルで反応を制御することにより、耐加水分解性を発現させ、石油由来のポリエチレンテレフタレートと同程度の耐久性を実現した。これらの特性改善により、衣料、自動車、電気・電子分野などへの適用が期待されている。

同社では、ラクチド(乳酸から生成される化合物)段階からバイオプラスチックを製造するパイロットプラント(年産200トン規模)を用いて研究開発を進めてきた。今回、乳酸段階から製造する実証プラント(1,000トン

規模)を稼働させ、実用規模での生産技術を確認する。その上で、2011年には年産5,000トンへのスケールアップを、さらに将来的には数万トン規模の設備を計画している。

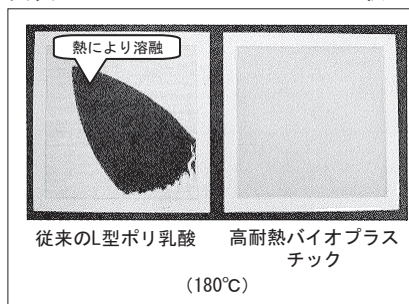
脱石油依存の観点から、このような技術の一層の推進が求められる一方、ポリ乳酸は通常トウモロコシやジャガイモなどのデンプンから製造されるため、食料と競合せず、かつ安定して入手可能な原料の探索も進める必要がある。

図表1 熱特性比較(示差走査熱量測定結果)



出典：帝人(株)提供資料

図表2 アイロンテストによる比較



出典：帝人(株)提供資料

参考

- 1) 河本洋、「植物由来プラスチックの研究開発動向」、科学技術動向、No.65、2006年8月号
- 2) 帝人(株)プレスリリース：http://www.teijin.co.jp/news/2009/jbd090917.html

ナノテクノロジー・材料分野の府省連携プロジェクト「革新的構造材料を用いた新構造システム建築物」の研究開発が2008年度末に5カ年の開発期間を終了し、2009年7月に研究開発成果報告会が開催された。プロジェクトは、経済産業省・国土交通省が助成事業等で支援をし、国土技術政策総合研究所や関連団体、鉄鋼・建設等の民間会社21社が参加した。鉄骨構造建築物における、「震度7クラス・無損傷の建築」「省資源生産による建築」「長期耐用の長寿命建築」を開発目標に設定し、高強度鋼の開発から設計施工指針案や性能評価手法の開発を総合的に行った。

トピックス 4 高強度鋼を用いた大地震でも無損傷な建築物のプロジェクト

2004年度に、ナノテクノロジー・材料分野の産業発掘の推進のため府省連携プロジェクトとしてスタートした「革新的構造材料を用いた新構造システム建築物」の研究開発が2008年度末に5ヶ年の開発期間を終了し、2009年7月に研究開発成果報告会が開催された¹⁾。このプロジェクトは、経済産業省・国土交通省が助成事業等で支援をし、国土技術政策総合研究所・(社)新都市ハウジング協会・(社)日本鉄鋼連盟・(社)日本鋼構造協会および、鉄鋼・建設等の民間会社21社が研究開発に参加した。(社)日本鉄鋼連盟・(社)日本鋼構造協会が高強度鋼や部材開発・部材接合技術の開発を主に担当し、(社)新都市ハウジング協会が設計施工法開発や事業化の検討を主に分担した。国土技術政策総合研究所は性能評価手法の開発や、新システムの既存建築物への活用手法の開発を行った。

建築物には複合機能化・内部構造可変性・長寿命化など一般的な社会ニーズがある。それらをふまえ、具体的な研究開発目標を、鉄骨構造建築物において、①「震度7クラス・無損傷の建築」、②「省資源生産による建築」、③「長期耐用の長寿命建築」に設定した。

まず、①「震度7クラス・無損傷の建築」では、目標とする耐震性を満足させるために、引張強度が従来の鋼材強度の約2倍となる800 N/mm²級の高強度鋼を鉄鋼連盟加盟の鉄鋼大手4社が開発した。現行の建築物では、建築基準法で定めている稀に発生する地震(数十年に1度程度)に対して、無損傷だが、それを超える極めて稀に発生する地震(数百年に1度程度、震度6強程度¹⁾)に対して、人命保護の観点から倒壊しないが損傷を許容する設計となっている。従来の鉄骨構造建築物では400～500 N/mm²級の鋼材を使用した部材の塑性化によって地震力を吸収していたが、新構造システム建築物ではダンパーを組み合わせ開発した800 N/mm²級の鋼材を弾性領域で使用することにより、震度7クラスの地震を受けても建築物はほと

んど無損傷で、地震後もそのまま使い続けることができる。

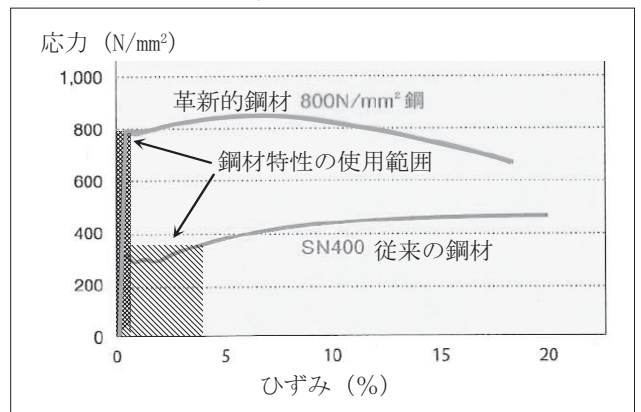
次に②「省資源生産による建築」については、強度が2倍になることで厚みはおよそ半分になり、薄い鋼板で柱・梁の製造ができる。柱と梁等の接合部を溶接ではなくボルト接合とすることで、建物の供用途中での骨組みの可変性を確保するとともに、供用終了後のリユースを容易とした。従来のボルトでは使用本数が多くなり接合部が大型化してしまうため、1800 N/mm²級の高強度のボルトも開発した。

さらに、③「長期耐用の長寿命建築」については、震度7クラスの地震に対しても健全であり適切な維持管理を行えば、200年程度の長期供用は可能と考えられる。その間の建物用途の変更も可能とするため、耐震性を確保しつつ着脱可能なプレキャストRC床板の鉄骨梁との接合システム等も開発された。

また、この新構造システム建築が広く建築物に適用されるよう設計施工指針案が策定された。

開発に当たった民間会社は、新技術による建築物のコスト上昇を1割程度に抑えることを目指しており、事業化検討を開始している。

図表 開発鋼の応力ひずみ関係の例



参考文献¹⁾を基に科学技術動向研究センターにて加工

参 考

- 1) 革新的構造材料を用いた新構造システム建築物研究開発プロジェクト 成果報告書 2009.3

2009年8月、(独)海洋研究開発機構海洋工学センターの澤隆雄技術研究主任らは、音波を用いて広範囲の海底を詳細に探査するビームステアリング合成開口ソナーを開発した。海底の状況を明瞭な音響画像として捉えることができ、深海巡航探査機「うらしま」に搭載し、世界で初めて実用化試験に成功した。従来型のソナーと比較して、分解能は約3倍、ノイズは1/8になった。この技術により、海洋探査の効率向上が期待されるほか、海洋資源探査への活用も期待できる。

トピックス 5 ビームステアリング技術を用いた合成開口海中ソナー

2009年8月、(独)海洋研究開発機構海洋工学センターの澤隆雄技術研究主任らは、音波を用いて広範囲の海底を詳細に探査することができるビームステアリング技術を併用した合成開口ソナーを開発し、深海底における実用化試験に世界で初めて成功した¹⁾。この技術は、国家基幹技術の海洋地球観測探査システムの一部として開発されたものである。

海中では光や電波は透過しにくい、音波は良好な透過性を持っているため、海中探査には音波を利用するソナーが用いられている。ソナーは計測目標が発する音波、または目標自体に音波を照射し、その反射音を計測することで探査を行う。ソナーの性能は、探査目標までの距離が長くなるほど分解能が低くなり、またノイズの影響も大きくなる。それを補うためには、ソナーを大型化するか目標へ接近するしかない。大型ソナーは探査機への搭載や運用が難しく、深海探査では目標への接近も容易ではない。

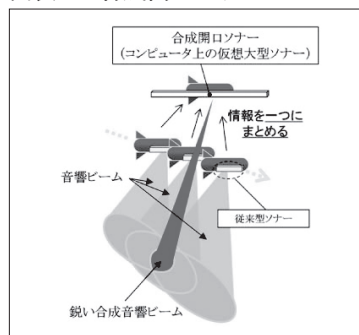
これらの問題を解決するため、上記の研究チームは、レーダーにも用いられている合成開口技術をソナーへ適用した。合成開口技術では、ソナーが移動しながら目標に何度もビームを照射して、その反射信号をコンピュータに蓄積し相関処理することで分解能を向上させる。仮想的に巨大な受信機を合成することから、合成開口技術と呼ばれる。

合成開口技術はソナーが直線状に移動し、目標へ信号を送受信した位置情報を正確に把握する必要がある。これまでは、波や潮流等の影響でソナーが動揺し画質が落ちる問題とともに、分解能の向上に伴って処理演算量が大幅に増えるという問題があった。澤主任らは、ソナーを搭載する探査機の動揺を周波数解析し仮想的な位置を算出し、受信信号の遅延時間補正を行う技術を開発した。さらに、従来は分解能の要求精度よりもはるかに高いサンプリング周波数が必要であったが、受信信号を相関処理する際の sinc 関数のピーク値近傍を二等辺三角形に直線近似することで、デ

ータ量を大幅に削減する新たなアルゴリズムを開発して、従来の数十倍以上の高速処理を実現した。これらにより、目標に対して受信機を常に向け続けること(ビームステアリング)が可能となり、海底からの反射音響情報を位相を含めて正確に取得し、合成開口することが可能となった。深海巡航探査機「うらしま」に新型ソナーを搭載し、駿河湾の水深1400mの深海底で廃船を観測したところ、従来より、分解能は約3倍、ノイズは1/8となった。データ処理は、探査機が帰還後、データを回収し行っている。

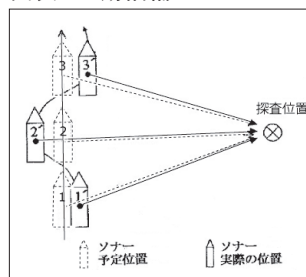
従来型のソナーは海底面から戻ってくる音波の強弱で海底地質を推定していたが、新型ソナーは合成開口処理のため海底面からの音波の位相変化を記録する。したがって、海底面に鉱物などが存在すると位相が変化することから海洋資源探査への活用も期待できる。

図表1 合成開口ソナーイメージ



参考文献¹⁾を基に科学技術動向研究センターにて加工

図表2 動揺補正イメージ



ソナーが潮流等の影響で直線的に進行しないことによる目標までの距離を補正することで、音波を照射し、受信する時間を算出する遅延時間補正が可能となり、正確な目標データを取得することができる。

参考文献²⁾を基に科学技術動向研究センターにて加工

参 考

- 1) (独)海洋研究開発機構プレスリリース http://www.jamstec.go.jp/j/about/press_release/20090806/#a1
- 2) 特許公報、特開 2006-234478、合成開口処理システムにおけるプラットフォーム動揺補正方法、公開日 2006.9.7

研究と実践のはざま

—東海地震予知をめぐる—

松村 正三
客員研究官

1 はじめに

2009年8月11日の早朝、駿河湾内に震源をおくM(マグニチュード)6.5の地震が起き、御前崎市や焼津市などで震度6弱の揺れが記録された。静岡県では30年以上にわたって「東海地震」の脅威が喧伝されてきたため、「とうとう来たか?」と感じた人が多く、東海地震ではないと判明した後は、「東海地震を誘発するのではないか?」という不安が広まった。これは当然出てくる疑問であり、それに対して地震を研究する者はなんらかの回答を迫られるわけであるが、現実の対応は、こうした期待を満足させる状態とは言い難い。

どのような分野であれ、研究の結果が社会に還流し、実際の生活に反映される、すなわち成果が実践に結びつくまでには、実効性を見定めや具体的な手法のマニュアル化といった克服すべきいくつかの階梯が存在する。それゆえ、研究とその実践との間には常に一定の隔たりが生じるわけであるが、双方の隔たりが埋まることはないとしても、通常は、研究の進展に伴って実践も併行して進むと思われる。

ところが、ここで取り上げる地震予知の分野には、こうしたイメー

ジがあてはまらない。そもそも明確な成功例のない地震予知に対して「実践」を議論すること自体、現実的かどうかはあやしい。一般的な意味で、地震予知はきわめて困難である。世界中を見渡しても科学的な検証を経た事例のないことは、筆者の既レポートでも解説した¹⁾。しかし、「東海地震予知」に限っては、珍しい例ではあるものの紛れもなく「実践」という範疇に数えられる。では、「東海地震予知」における研究と実践の現実は、どのような状況にあるのだろうか。

東海地震予知に関わる組織は図表1に挙げたように多岐にわたるも、それぞれが役割を棲み分けており、その中で「予知の実践組織」と言えるのは、1979年気象庁に設置された「地震防災対策強化地域判

定会(以下、判定会)」である。他方、1969年に発足した地震予知連絡会は、大学や国立研究機関の研究者が集って討議する場である。判定会の前身が当時の地震予知連絡会の中に設けられた「東海地域判定会」であったことから分かるように、東海地震予知に関する「研究」と判定会による「実践」との間には、もともと大きな懸隔はなかった。ところが、ここ10年くらいの間で予想外の事象が相次いで観測され、東海地震をめぐる意外な話題が取り沙汰されるようになった。東海地震そのものに対する研究者の認識も単純なものではなくなっている。しかし、新たな見方や考え方が出たからといって、その都度、実践体制を軽々しく改変するわけにはいかない。結果的に、最初は

図表1 東海地震予知に関わる組織・所管機関・主な役割

組織	所管機関	役割
中央防災会議	内閣府	被害想定
地震防災対策強化地域判定会(判定会)	気象庁	直前予知
地震予知連絡会	国土地理院	観測・解析結果の検討
地震調査研究推進本部	文部科学省	現状評価・長期予測
日本地震学会	社団法人	研究全般

科学技術動向研究センターにて作成

同一線上にあった研究と実践の位置づけが徐々に乖離し、双方のはざまは、もはや単純な里程の差では測れないほどになってしまった。このような状況が、地震によって被害をこうむるだろう当の地域社会に正確に伝わっていないということも問題である。

本論は、東海地震予知をめぐる

研究と実践の現状に焦点をあて、そのはざまを明らかにすることで当事者間の認識を新たにし、また同時に関係する地震研究者らへの要望と期待を表明することを目的とする。まず、東海地震予知のレビューとして、第2章に判定会が形作られてきた経緯を、第3章に東海地震説に対する反論・疑問を、

第4章に新たに見つかった事実や現象を、そして、第5章にさまざまな推論を紹介する。最後に、第6章では2000年代初頭にあった研究者による警告事件を引いて、地震予知に関わる研究者の姿勢に対しての筆者の所感を述べたい。

2 東海地震の研究と実践の推移

2-1

予知体制のスタート

東海地震が世上に登場するきっかけとなったのは、1976年秋の地震学会において石橋克彦が発表した「駿河湾地震説」²⁾である。ただし、東海地域に大地震が迫っていると指摘したのは、これが初めてではない。茂木清夫は1970年の論文³⁾で遠州灘沖に大地震発生のポテンシャルがあると指摘した。図表2に示したように、国土地理院による明治(1883～1904)と昭和(1948～1964)の測量結果の差から解析された歪のパターンが、フィリピン海プレート北縁に沿う相模湾、紀伊半島、室戸岬のいずれにおい

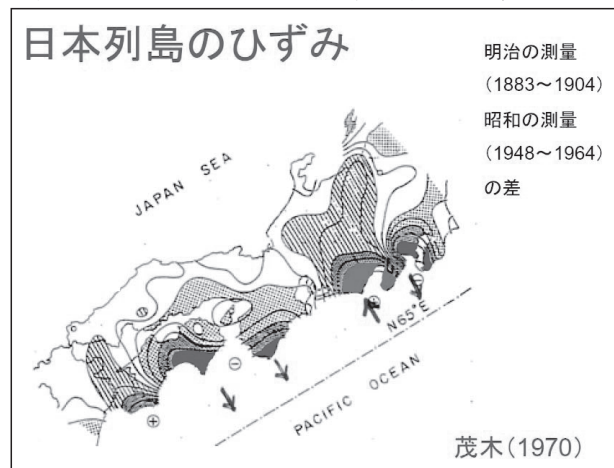
ても「伸び」であったのに対し、遠州灘のみ「縮み」になっていたからである(図表2の逆向き矢印)。つまり、前3者では2回の測量の間で、1923年関東地震、1944年東南海地震、1946年南海地震が発生して圧縮歪が解消されていたのに対し、遠州灘では起きるべき地震がまだ起きていない、と解釈したのである。GPS観測の発達した今から見れば粗い観測に基づいていたものの、この解釈は分かり易く説得力があった。

これに続いて石橋は、遠州灘に起きる地震の繰返しと思われた1854年安政東海地震と1944年昭和東南海地震の震源域を比較し、後者では駿河湾周辺が割れ残っており、結果としてこの部分の歪が臨界状態のままにある、という仮

説を提唱した。この説を重大視した当時の中央防災会議は、1978年、石橋説に準じた東海地震想定震源域を設定し(図表4の長方形枠)、また、東海地震対策法とも言うべき「大規模地震対策特別措置法」を制定した。これをきっかけとして、気象庁に判定会が発足し、名実ともに国家戦略としての地震予知実践体制がスタートした。

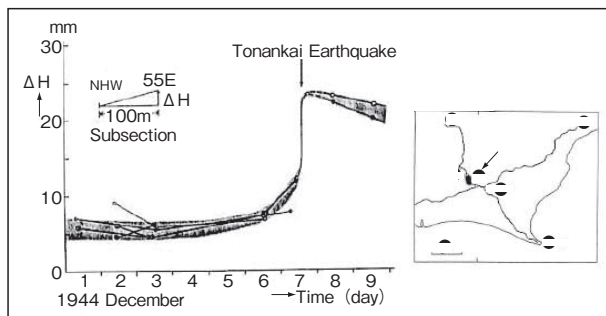
予知の根拠とされたのは、これも茂木(1984)⁴⁾によって発掘された1944年東南海地震直前の異常傾斜変化である(図表3、掛川市近くの水準測量区間で地震前日から急激な傾斜変化が観測された)。これは、東南海地震直前の助走滑り、すなわちプレスリップであったと解釈され、この考え方が、現在もお東海地震予知戦略の柱となっている。

図表2 測地測量による日本列島60年間のひずみ



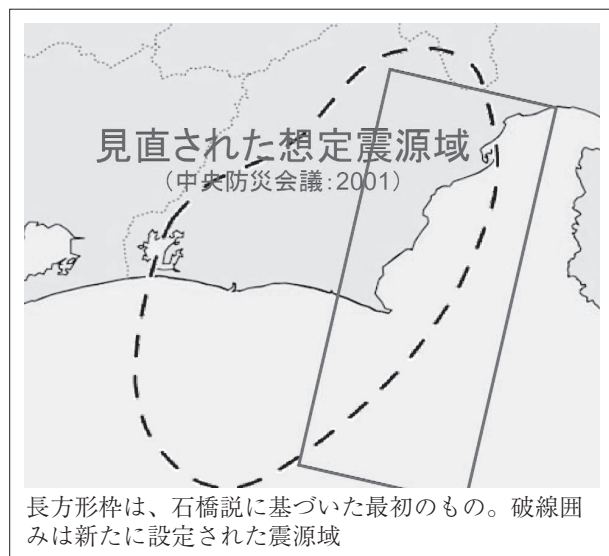
参考文献³⁾を基に科学技術動向研究センターにて作成

図表3 東南海地震直前に静岡県掛川市付近で観測された異常地殻傾斜



出典: 参考文献⁴⁾

図表4 見直された想定震源域



参考文献⁵⁾を基に科学技術動向研究センターにて作成

このように法律を制定したうえでの国家的措置が採られるまでになったのは、発表された研究成果とそれに基づいた指摘や警告の内容がシンプルで分かり易く、大きな曖昧さがなかったためであろう。これは、研究成果がストレートに実践へと結び付いた事例と言える。以下に紹介するように、この後、さらに二度にわたって、東海地震研究の成果が、実践としての予知戦略に反映されることとなった。

2-2

想定震源域の見直し

石橋が「駿河湾地震説」を提唱した当時、その説をサポートすべき観測データはまだ十分ではなかった。しかし法律制定後、東海地域の観測体制整備はめざましく、例えば、当初はほとんど見えていなかった静岡県下のフィリピン海プレートの沈み込みも、その後の微小地震データに明瞭に映し出されるまでになった。また、国土地理院が張り巡らしたGPS観測網(GEONET)によって、固着沈み込みによる地殻歪の進行がリアルタイムでモニターできるようになっ

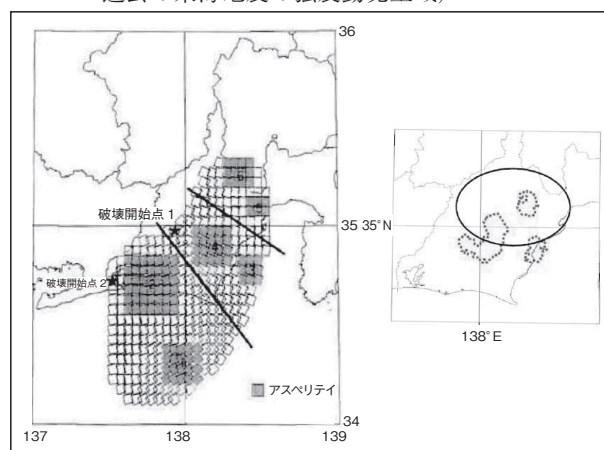
た。これらの新たな観測・解析結果に基づいて、中央防災会議は、2001年、東海地震の想定震源域を23年ぶりに改訂した⁵⁾(図表4の太破線、図表5左図の茄子形)。これは、微小地震データと地殻変動データから、フィリピン海プレート上面の固着エリアをより実際的な形に描き出すことができたからである。さらに同会議は、想定震源域内に6個のアスぺリティ(プレート間のひっかかり、本質的な固着部を言う。図表5左図の方形)を想定することで、震度予測と被害想定を導き出し、さらにその結果に基づいて地震防災対策強化地域の見直しを行った。ただし、ここで想定されたアスぺリティは震度予測マニュアルに従って人為的に決めたものであり、後述するような観測・解析の成果から導かれたものではない。

2-3

判定会招集基準の見直し

判定会が設けられると同時にその招集のための基準も定められた。その後2004年になって、この招集基準は新たなものに改変された(上

図表5 中央防災会議による想定アスぺリティ(左図の6個の方形)と、観測データから推定されたアスぺリティ(右図の3個の囲み、右図楕円は、過去の東海地震の強震動発生域)



参考文献^{5,32,33)}を基に科学技術動向研究センターにて作成

垣内修・東田進也、2006)⁶⁾。気象庁から発信される情報は、異常の度合いに応じて、観測情報→注意情報→予知情報と段階を踏む。この内、2箇所の歪計で同時に異常変動が捉えられた場合に出される注意情報が、実質的な意味で判定会招集に結びつく。従来基準との明瞭な違いは、当初の基準では地殻変動と地震活動の双方が異常判定の対象とされていたのに対し、新基準では異常地震活動という判定を廃したことである。地震活動は地殻変動よりも多彩な情報をもたらすが、同時に、起きている現象に対して一意的な解釈ができない、という欠点を有するからである。つまり、異常か異常でないかの判断が人によって分かれることがあり、このため、マニュアルに従って緊急時の行動を規定するための判断材料には向いていないということである。これは、東海地震予知に関する研究と実践のはざまにある問題のひとつと言えよう。

一方、異常地殻変動に関する招集基準は、一段と厳格化された。これには、体積歪計の増設と解析技術の進歩とがあいまって検知能力が飛躍的に向上すると同時に、プレスリップ判定のためのシミュレーション技術が発達したことが

大きく寄与している。加藤尚之・平澤朋郎(1996)⁷⁾の2次元モデルによれば、プレスリップから本破壊

に至るまでの時間的余裕は、従来想像されていたよりもずっと短いとされ、これに基づいて異常検出

のしきい値を従来の1/10に引き下げる結果となった。

3 東海地震説への疑問

「ほとんど疑いの余地がない」と一時は全面的に認められるまでになった東海地震説も、最初の警告から30年を経た現在、いくつかの疑問が呈されるようになった。中でも、もともとの筋立てに問題がなかったか、という基本に立ち返る視点からの議論が目立つ。

3-1

南海トラフ地震系列の連動 (東海地震単独発生の否定)

図表1中の地震調査研究推進本部の下にある地震調査委員会から出された報告書「活断層及び海溝型地震の長期評価結果一覧」⁸⁾によると、2009年から数えて30年以内の東海地震(想定マグニチュードM8程度)の発生確率は87%(参考値)とされている。これは、過去4回の東海地震(1498年明応、1605年慶長、1707年宝永、1854年安政)から、平均発生間隔を1188年として統計的に算出した数値である。東南海地震(M8.1、30年以内の確率は60~70%程度)、南海地震(M8.4、同50~60%程度)の場合とは違って、東海地震の発生確率が参考値とされているのは、明応や慶長といった古い時代の東海地震の性格がよく分からず、それらの地震で駿河湾まで破壊が及んだかどうか不明だからである(石橋、1981)⁹⁾。

過去の地震発生の履歴は、まずは、古文書の記載等からたどることになるが、これらには、時代によって記録の洩れや滅失がある。寒川旭¹⁰⁾は、遺跡発掘の現場で発

見された液状化痕から過去の地震発生を推測する方法(地震考古学)を考案し、これによって東南海、南海地震の記録洩れのいくつかを補填することに成功した。また、海岸近くの湖底・池底に残された津波堆積痕から古い時代の海溝型大地震の存在が発掘された例もある。これらの結果、東南海、南海地震については過去の発生が規則的であったことが分かっている。これに引きかえ、東海地震の過去は不鮮明であり、平均発生間隔を100年程度とした場合は、発生確率が過大評価となるおそれがある。また、少なくとも歴史記録を見る限り、東海地震が東南海・南海地震から孤立して単独で起きた例はない。後述するシミュレーション研究でも、東海地震を単独で発生させることはかえって難しいとされている。仮に東海地震が単独では起き得ないとすれば、その発生確率が東南海・南海地震よりも高くなるわけにはいかず、逆に言えば、次回東南海地震の発生まで、すなわちここ10~20年はむしろ安泰であるということにもなる。

3-2

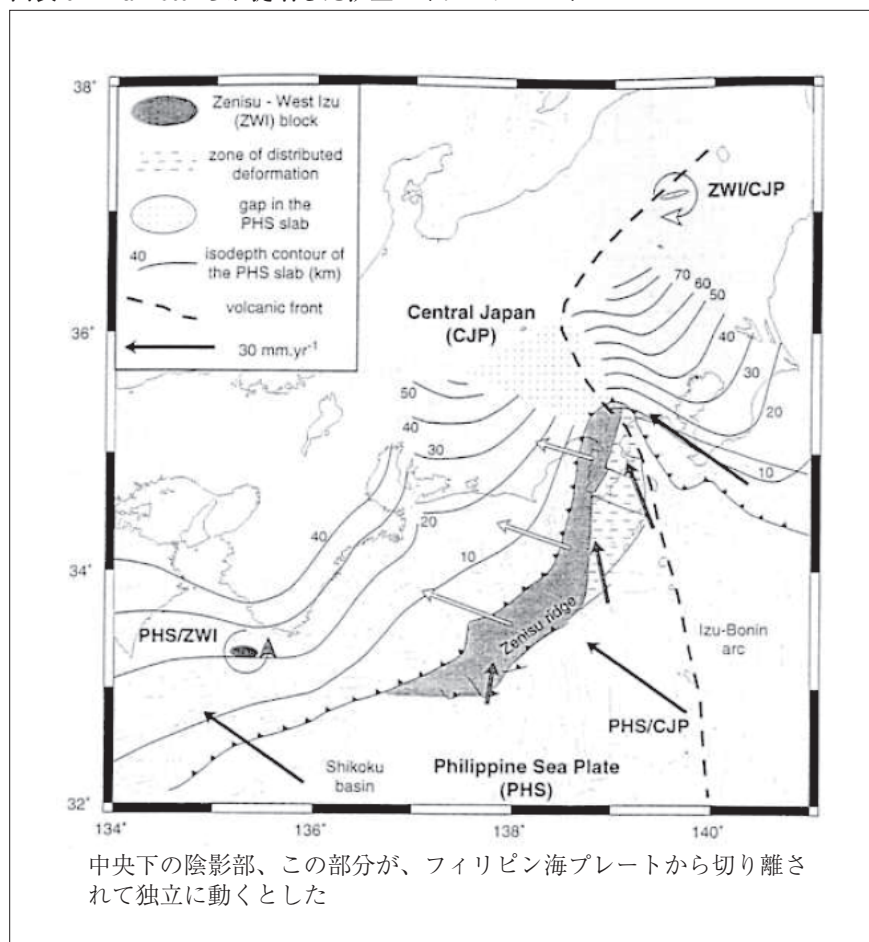
プレート相対速度の評価と 伊豆マイクロプレート説

地震調査委員会が下した「東海地震の平均発生間隔は、約120年」という判断は現実的だろうか。この問いに対する鍵は、駿河湾から静岡県下にもぐりこむフィリピン海プレートのユーラシアプレートに

対する相対速度である。例えば、瀬野徹三(1993)¹¹⁾のプレートモデルに従って計算すると、静岡県下では、N50度Wの方向に約40mm/年となる。この速さで推移すれば、120年間で蓄積される「相対ずれ」は5m近くとなり、M8地震を起こす原動力として不足はない。ちなみに、活断層に対して適用される松田式(松田時彦、1975)¹²⁾を使って評価したM8.0地震のスリップ量(相対ずれ)は6.3m、石橋⁹⁾による安政東海地震(M8.4)の平均スリップ量は4.0mである。ところが、静岡付近でのフィリピン海プレートの動きは、上記のような単純なものではないとする説が現れた。Mazzottiら(1999)¹³⁾は、伊豆半島を含むフィリピン海プレートの北端部が、本体から切り離された小断片(マイクロプレート)となって独自の動きをしている、と主張した(図表6の陰影部分)。彼らの説に基づく、駿河湾でのプレート相対速度は、せいぜい20~25mm/年となり、4.0mのスリップを蓄積するには160~200年かかることになる。

静岡県下の歪が現時点で既に満期になっているためには、少なくとも30mm/年のプレート相対速度が必要となる。しかし、地下でのプレートの動きを知ることは難しい。この問いに解を見出す方法のひとつに、地表の地殻変動から地下でのプレート境界面上の動きを逆に解く「バックスリップ解析」と呼ばれる手法がある。バックスリップ解析の結果についてはすでにいくつかの報告があるが、扱うデータの選択や計算手法によって結果が異なり、これまでのところ、相対速度

図表6 Mazzotti らが提唱した伊豆マイクロプレート

出典：参考文献¹³⁾

の値は、20 mm ~ 40 mm/年という幅がある。これらの中央値をとるとほぼ30 mm/年となるが、バックスリップ解析手法自体にも疑問点が指摘されており、結果の信頼度は未だ不十分である。他方、近年、精力的に解析されるようになった固着域よりも深部側に起きる低周波地震・微動・短期的スロースリップの情報からも、フィリピン海プレートの相対速度が見積もられている。小林昭夫ら(2006)¹⁴⁾によると愛知県東部下では2000年以降39 ~ 49 mm/年、小原一成(2009)¹⁵⁾によれば2004年以降43 mm/年、となっている。いずれも、瀬野ら¹¹⁾による理論速度に近いが、これをやや超える値である。さらに松原誠ら(2006)¹⁶⁾は、浜名湖下に検知した相似地震(マグニチュードに関わらず同じ波形を持つ地震)のスリップ量から30 ~ 40 mm/年と推定した。

以上を総合すると、東海地震の繰り返し間隔については、今のところ100 ~ 200年の幅での曖昧さを考慮する必要がある。

3-3

掛川異常傾斜変動への疑問

2-1節で述べたように、判定会による東海地震予知の実現性を支える唯一の根拠となったのは、1944年東南海地震直前に掛川市で発見された異常地殻傾斜である。ところが、この測量結果の真偽そのものへの疑問が出された。鷲谷威(2004)¹⁷⁾は、日本地震学会2004年秋季大会で、「地震直前に傾斜変化が生じた可能性は依然として高いが、これらが単なる作業ミスの結果である可能性も否定できない」と述べた。もしも異常傾斜が

真の地殻変動であるならば、プレスリップが存在した可能性が高い。ところが、感度の高い観測網が展開された近年になっても、現実の大地震の直前にプレスリップが検知された報告は皆無である。小笠原ら(2009)¹⁸⁾が南アフリカの金鉱山で行っている至近距離での小地震の観測においても、プレスリップは見つかっていない。現在のところ、プレスリップの存在は、実験室かシミュレーションの場では確かめられていないのである。もっとも、東南海地震のプレスリップが否定されてしまったわけではない。Linde and Sacks(2002)¹⁹⁾は、震源域の深部延長部分に2m程度の滑りを想定すれば掛川市の異常傾斜を解釈することができると主張し、異常傾斜変動がプレスリップによるものであった可能性を印象づけた。

以上からも分かるように次回の東海地震を占う上で、前回の東南海地震の様相は重要な意味を持つ。ところが、その震源域、特に東海地震との境をなす東端部がどこまで延びていたかが今もなお議論的となっている。1944年東南海地震の震源域の拡がりについては、金森博雄(1972)²⁰⁾をはじめとして10例に近いモデルが提案されているが、決定打はまだない。この結果によっては、東海地震の存在そのものも不確実なものとなる。鷲谷(2007)²¹⁾は、震源域を横断する水準測量の結果を説明するためには、プレート境界ではなく掛川市近在の分岐断層が滑ったとする必要があるとした。この主張は、プレスリップの存在を否定するものではないが、東南海地震による破壊域の同定の曖昧さ、ひいては東海地震の存在に関わる問題をあらためて提起したことになる。

4 東海地域の地殻活動の現状

ここでは、東海地域で最近10年間に発見された事象や、目立った、あるいは異常と思われた活動を列挙する。

4-1

地震・火山活動

① 1996年10月、静岡県川根町(現・島田市)の直下にM4.3の地震が発生した。地震の規模としては珍しいものではなかったが、普段は起きないプレート境界地震であったことから、東海地震との関係性が論議を呼んだ。

② 東海地震の推定固着域では、プレート境界をはさんで上下に位置する地震発生層の活動が、1990年代後半から微弱ではあるものの明瞭な静穏化を示し、スロースリップとの関係が議論された(松村、2002)²²⁾。特に、島田市の直下に顕著な静穏化域が見出され、ここでは特徴的な相似地震群が発見された(松原ら、2006)¹⁶⁾。

③ 2000年6月から8月にかけて、三宅島・新島・神津島を囲む領域でM6地震を含む活発な群発地震活動が続いた。併行して、三宅島では火山活動が始まり、カルデラ形成を伴う17年ぶりの大噴火へと発展した。地震活動は、マグマ貫入による地震とプレート内せん断破壊による地震とが入り混じった複雑なプロセスを経て同年8月に終息したが、9月には富士山直下で低周波地震活動が活発化した。

④ 2004年9月、紀伊半島南東沖にM7.4の地震が発生した。震源は南海トラフに近いが、東南海地震を起すプレート境界地震ではなく、フィリピン海プレート内、および上盤の地殻内地震であった。この

地震によって静岡県から三重県にかけての広いエリアが南進した。この地震の東海地震への影響評価は難しいが(瀬野、2006)²³⁾、トラフ軸近辺に起きるこうした非定常的地震は、本命であるプレート境界地震の前触れであるとの見方もある。

⑤ 沈み込んだフィリピン海プレートが深さ30~40kmに達するあたり、四国から紀伊半島、さらに伊勢湾をまたいで愛知県・長野県南部に至る細長い帯状領域で、通常地震とは異なる「低周波微動」あるいは「低周波地震」と呼ばれる活動のあることが小原(2002)²⁴⁾により、また、西出則武ら(2000)²⁵⁾によって発見された。同様の現象は、北米でも発見されているが、全てのプレート沈み込み帯で起きているわけではなく、例えば、太平洋プレートでは見つかっていない。メカニズムとしては、沈み込んだ岩石から脱水した水が関わっていると推察されている。その後、より低周波の地震(深部超低周波地震)が同時に発生していることも発見された(伊藤喜宏ら、2007)²⁶⁾。

⑥ 前項の深部低周波地震とは別に、トラフ軸近くのごく浅い場所で「浅部超低周波地震」が発生することが分かった。これは、プレート境界面から立ち上がる分岐断層上に起きる地震であると推察されている(伊藤・小原、2006)²⁷⁾。

⑦ 2009年8月11日早朝、静岡市沖合の駿河湾内でM6.5の地震が発生した(冒頭で紹介した「駿河湾の地震」)。この地震は、フィリピン海プレート内部を破壊しており、東海地震とはメカニズムが異なる。およそ40年間隔で静岡市周辺に起きてきたM6級の「静岡地震」のひとつと見ることもできるが、次の東海地震の引き金となる可能性も

懸念されている。

4-2

地殻変動

国土地理院は、1990年代後半から全国に張り巡らせたGPS観測網(GEONET)の運用を開始したが、その中で、浜名湖を中心とした地域にこれまでとは異なる動きのあることを発見した。逆解析の結果、これは、浜名湖下のプレート境界でプレート運動に逆行する緩慢な滑り(スロースリップ)の進行であることが分かった。この滑りは2005年頃まで続き、中心部の滑りは約25cmに達した。すなわちプレートの引き摺りのほぼ10年分が解消されたことになる。この発見を基に、山本英二ら(2005)²⁸⁾が傾斜データ、小林ら(2004)²⁹⁾が潮位データの過去に遡った結果、同種のスロースリップは、以前から約10年間隔で繰り返し起きてきたということが分かった。普段は固着していながら、時に固着が外れて滑るという意味で、ゆっくりではあるがこれも一種の地震と見ることが出来る。

一方、これよりもやや深いプレート沈み込みの奥側では、前節で紹介した低周波微動・低周波地震・深部超低周波地震が発見されていたが、同時に、これらは、プレート境界の微弱な滑り、すなわちスロースリップに伴うものであることが分かった。前項で取り上げたスロースリップは数年間継続する滑りであるのに対し、こちらは数日で停止し、およそ半年の間隔で再開するものである。両者を区別して、前者を長期的スロースリップ、後者を短期的スロースリップ

と呼称する。こうしたスロースリップの存在は、川崎一郎(2006)³⁰⁾によって予測されていたが、実際に現れた現象は予測を超える多様な症状を呈するものとなった。

4-3

地下構造

東海地域にフィリピン海プレートの固着沈み込みがあるということは、観測事実として、もはや疑いの余地はない。しかしその微細構造に関しては、まだ議論の余地が残る。フィリピン海プレートの形状に関しては複数個のモデルが提出されており、大きな差はないものの、場合によってはその微妙な差が争点となる。例えば、静岡県浜岡原子力発電所直下におけるプレート境界面の深さは、モデルによって10～20 kmの範囲で違いがあり、今もなお決着がついていない。また、フィリピン海プレートの実質的な沈み込み口が駿河湾内ではなく、伊豆半島の底を通して相模湾側に抜けるという説もある。プレート形状を探索する方法としては、人工地震による反射法探査や、自然地震波の特殊な解析手法(レシーバー関数解析など)があるが、駿河湾では未だ明確な結果が得られていない。

一方、遠州灘では反射法探査が行われており、新たな成果も提出されている。御前崎の直下あたりでは、沈み込んだフィリピン海プレートの上層が厚く膨らんでいることが発見された。小平秀一ら(2003)³¹⁾は、これが、南海トラフに平行して何列も存在する海底の皺の内の一列が沈みこんだものであろうと推測した。現在、遠州灘沖に見られるのは、銭州海嶺と呼ばれる皺であるが、御前崎下のもは「古銭州海嶺」であり、プレート進行方向のさらに奥側には「古々

銭州海嶺」があるのではないかと推察されている。いずれにせよ、こうしたプレート境界地形の凹凸がひっかかり、歪を集中させ、ここにプレート境界地震のアスペリティを形成するという考え方が広く受け入れられている。

4-4

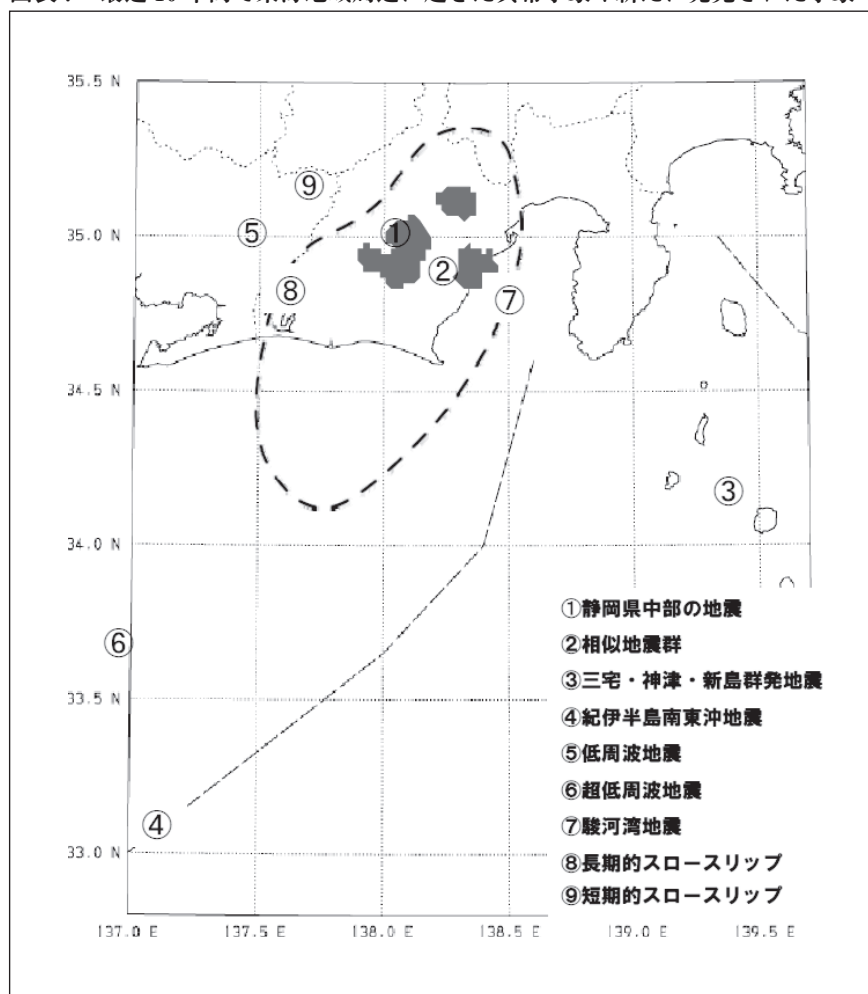
事象のまとめ

前節までに挙げた事象をまとめて全体を眺めたものが図表7である。想定震源域とその内部にある推定アスペリティ(3個の囲み領域)を囲んで、4-1節、①静岡県中部の地震、②相似地震群、③三宅・神津・新島群発地震、④紀伊半島南東沖地震、⑤低周波地震(低周波

微動)、⑥浅部超低周波地震、⑦駿河湾地震、4-2節、⑧長期的スロースリップ、⑨短期的スロースリップ、が散在する。

⑧の長期的スロースリップは想定震源域の端部で進行し、⑨短期的スロースリップは、これよりも深い側で進行する。さらに深い側ではおそらく固着することなく、ずるずると滑っているのであろう。①静岡県中部の地震および②相似地震群は、ここでは珍しいプレート境界地震と認識されているが、その存在場所は局所的である。③三宅島付近の群発地震と④紀伊半島南東沖地震の東海地震に対しての位置づけは明瞭でないが、その発生時期は、それぞれ長期的スロースリップの開始と停止の時期に近接しており、何らかの形でスリップの制御に関わっていたものと推

図表7 最近10年間で東海地域周辺に起きた異常事象や新たに発見された事象



科学技術動向研究センターにて作成

測される。

以上のとおり、東海地震想定震源域の周辺では、この10年で新たに発見されることとなった事象の

ほぼ全てが集中して起きてきた。これらの中には観測技術の進化によって初めて発見されるに至った事象も混じっているが、これだけ

集中する例はほかの地域には見られない。臨界状況にあるかどうかは別としても、東海が特異な状況にあることは間違いがない。

5 さまざまな推論

現在までのところ、発見されたさまざまな事象の全てを関連させて説明できるような統合的な解釈には遠いものの、いくつかの推論がなされている。

5-1

アスペリティの推定

想定震源域の改訂と同時に、被害想定のため、図表5の左図に示したようなアスペリティが想定された。この想定は、地震動予測のためのマニュアルに沿って導かれた結果である。置かれたアスペリティの数は6個とやや過多にも見えるが、最悪事態を考える被害想定のためにはこれでよい。しかし、地震予知を実践するという観点から言えば、事実在即さない想定では困る。異常地殻変動を検知した時、それがプレスリップであると判定するためには、アスペリティに関して実態に近いイメージを持っていることが必須だからである。従って、たとえ想定にすぎないとしても、観測データに基づいた実際的なアスペリティ情報を提供することが求められる。筆者ら(2008)³²は、地震活動変化およびGPS網で実測された歪分布から、静岡県中部に3個の歪集中域を特定し、これを推定アスペリティとした(図表5の右図)。一方、神田克久ら(2004)³³は、1854年安政東海地震による被害記録から、地震の際の強震動発生位置を特定した。さらに1707年宝永地震についても

同様の特定を行った。描かれた強震動発生領域は、図表5右図の楕円に示したとおり、2個の地震ともに静岡県中部のほぼ同じ場所となる。この結果は、過去の東海地震のアスペリティ位置を示唆するほとんど唯一の情報と言えるが、同図に描かれた推定アスペリティの位置ともほぼ一致する。

5-2

シミュレーション

前回の東海地震である1854年安政東海地震から得られる情報は限定的であり、特に4-4節にまとめたような事象の羅列が、その当時にもあったかどうかを確かめることはほとんど不可能である。その意味では、次の東海地震が起こったとき、初めて我々は東海地震とそれにまつわる地殻活動の全容を知ることになる。そしてその経験は、次々回の東海地震の予知に役立つだろう。しかしそれを待って今回は手を拱いている、というわけにはいかない。そこで登場するのがシミュレーションである。これは、コンピュータ上にヴァーチャルな東海地震を作りだし、その発生の過程を仔細に観察しようとするものである。

シミュレーションのベースとなる基礎方程式としては、現在、Ruina(1983)³⁴が提唱した摩擦構成則が多く用いられる。これによると、2個の微分方程式を連立させるだけで、地震間のゆっくりと

した応力蓄積過程と地震時の高速滑りが、交互に、かつほぼ周期的に出現する様子が模倣できる。

例えば、2-3節で取り上げた新しい判定会招集基準の根拠となったのは、加藤・平澤(1996)⁷による2次元シミュレーションの結果であり、このシミュレーションに現れたプレスリップとその形態に基づくことによって判定基準の改訂が行われた。堀高峰ら(2006)³⁵は、南海トラフに沿う東海・東南海・南海地震の3次元シミュレーションを行い、地震発生の周期や順序を実態にあわせようとすると地震の発生の仕方に一定のパターンが生じることから、結果的に東海地震の単独発生が困難であることを示した。弘瀬冬樹ら(2008)³⁶は、より実際に近い3次元プレートモデルによる東海地震シミュレーションの開発を進めた。このシミュレーションでは、浜名湖下の長期的スロースリップも再現されている。スロースリップをシミュレーションで再現するにはパラメータの微妙な調整が必要とされるが、これを最初に作り出したのは、吉田真吾・加藤尚之(2002)³⁷である。芝崎文一郎・布樹輝(2007)³⁸は、短期的と長期的、双方のスロースリップを同時に作り出すことに成功した。興味深いのは、どのシミュレーションでも、東海地震の発生前に数次にわたって長期的スロースリップが繰り返す、という結果が示されたことである。

5-3

臨界状況の判定

3-2節でも述べたように、現在、東海地震発生時の臨界状況にあるかどうかは曖昧なままである。これを判断するためには、すでに蓄積された応力や歪がどのくらい限界に近いかわかる必要がある。しかし、年々の蓄積分を評価することは可能だとしても、既に蓄積された応力の絶対値を知ることはできない。こうした中、間接情報ではあるが注目されるのは、地震活動の潮汐依存性から診断する方法である。田中佐千子ら(2002)³⁹⁾は、世界中のプレート沈み込み帯で起きている地震活動を調べ、プレート境界の大地震が起きる前には小さな地震の発生に潮汐の影響が現れる、ということを発見した。数MPaの応力を解放する地震に対して、たかだか数KPaにすぎない潮汐応力が影響するというのは、一見、不思議に思えるが、臨界状況にある場合には最後の一押しの効果をもつ、と解釈されている。さらに、田中ら(2004)⁴⁰⁾は日本中の微小地震活動の潮汐依存性を調べ、潮汐依存度が高い10個の領域を選び出した。そのうち4個では既にM6以上の地震が発生しており、東海地域は残る6個の領域のひとつに数えられている。

5-4

昭和の南海トラフ地震系列

3-1節で述べたように、南海トラフ地震系列は、「連動」が基本と見られている。前回の昭和系列では、2年の時差をおいて東南海、南海地震の順に発生した。前々回の安政系列では、東海・東南海地震が同時、南海地震は1日遅れで

引き続いた。さらに1回前の宝永では、すべてが同時に起こった。では、前回の昭和系列では、何故、東海地震だけが連動しなかったのだろうか？ この問いに対して、Pollitz and Sacks (1995)⁴¹⁾は、活断層地震としては最大級の1981年濃尾地震(M8.0)が影響したと答えている。彼らのモデル計算によると、濃尾地震による応力再配分によって東南海地震の発生が早められた一方、東海地震は抑制され、その発生は本来よりも約20年遅らされたという。数値評価の妥当性はともかく、昭和の系列のみ連動のサイクルが狂わされたと見ることになる。この考えを積極的に推し進めるならば、東海地震は昭和系列に属することになり、今後の単独発生も否定しきれないことになる。今の段階で、東海、東南海の連動発生を前提とした判断に偏ってしまうことは行き過ぎであろう。

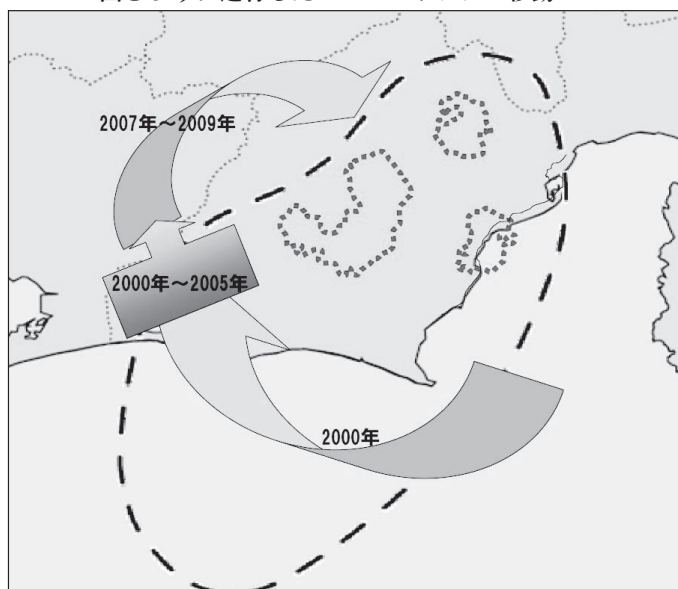
5-5

応力集中の現状

浜名湖下の長期的スロースリップは約10年間隔で繰り返してきた

ようである。2000年頃にスタートした最新のスロースリップは、2005年頃ではほぼ停止したかに見え、その限りでは、このスロースリップも、東海地震の前に数回起きると予測された中の1回であったと結論できる。しかし、仔細に見るとスリップは完全には停止していない。一旦停止したかに見えたスリップは、2007年以降、浜名湖から長野県南部および愛知県東部へと場所を移して微弱ながらも再スタートを切っている。また、これと同期して静岡県西部では微小地震の活性化が見られる(松村、2009)⁴²⁾。図表8には、2000年三宅島付近の活動に端を発し、推定アスペリティを取り囲むようにスロースリップが進行してきた様子を描いた(小林ら(2005)⁴³⁾、および国土地理院(2009)⁴⁴⁾を参考にした)。スリップ速度が全体として遅くなったのは、アスペリティ群を囲い込んでのプレート境界固着の再編成がほぼ完了したためと見られることもできる。地震活動からはアスペリティへの応力集中が以前にも増して進んでいるとみなされ、従って、今回のスロースリップを過去からの単なる繰り返しのひとつと結論づけてしまうわけにはいかないということになる。

図表8 想定震源域内の推定アスペリティ(点線囲み)を取り囲むように進行したスロースリップの移動



参考文献^{43), 44)}を基に科学技術動向研究センターにて作成

6 研究者の役割

2000年代の初め、複数の研究者によって東海地震の発生に関する警告が相次いで発表された。五十嵐丈二(2000)⁴⁵⁾は、臨界間近い物理現象に観察される振動周期の漸減という現象に注目し、掛川—浜岡間の水準測量データの振動する動きから、東海地震の発生を2004年半ばと結論づけた。川崎・岡田(2001)⁴⁶⁾は、震源核の成長に関する理論式を案出し、掛川—浜岡間の水準測量データに適用することで、発生時期が2001年初頭になるとした。山岡耕春ら(2001)⁴⁷⁾は、浜岡に設置されたGPSの動きから、破壊に向かう加速度変化の表式(Time-to-Failure)を適用することで2002年半ばに臨界に達すると推論した。瀬野(2003)⁴⁸⁾は、アスペリティ分布の変容過程に対するモデル化を行い、掛川—浜岡のデータから発生時期は2007年半ばになるとの見積もりを示した。筆者(2002)²²⁾は、推定アスペリティ領域のスケールから見て、応力維持の限界は2006年頃までであろうと推察した。こうしてほぼ同時期に発表された東海地震発生時期の推測結果は、マスコミやインターネット上でも注目され、その時点では世上にいくばくかの緊張感を醸成したものの、結果的には何事も起こらないまま警告の刻限が過ぎた。

結局、東海地震は起きなかったという結果からみれば、これらの警告はことごとく失敗に終わったことになるが、筆者自身関わったことでもあり、研究者によるこのような行為の適否について考えてみたい。まず、この時期一斉に警告が出たのは偶然なのか、それとも何らかの下地があったのか、ということであるが、異常状況は確かにあった。それは、前章までに紹介した長期的スロースリップ

である。結局は、今回のスロースリップも東海地震に繋がらない、つまり、幾度となく繰り返すスロースリップのひとつでしかなかったという結論に落ち着くかもしれない。しかし、そうだとすると、それは結果論でしかなく、スロースリップの開始時点で東海地震に発展するかもしれないという警告を出すのはむしろ妥当な判断だったと思われる。あえて言えば、今の我々の知識で具体的な発生時期に言及することに無理があったということだろう。さらに言うならば、今後、多少時期がずれたとしても上記の警告が「当たり」に変わる可能性は残るのである。

当の研究者たちにとっては苦い経験となってしまったが、筆者はむしろ、研究者たちがこれに懲りて推論や推測の発表に慎重になりすぎることを懸念する。現行の学会発表では、観測事実やデータ解析結果の報告が大部分を占める。解析結果から必然的に導かれる推測は別にして、それ以外の推論はスペキュレーション(この場合は、「空論」や「臆測」という意味)であるとして避けられる傾向にある。事実確認と状況分析は、科学的アプローチの基本であるのに対して、予測を混じえた推論に踏み込むことは、曖昧さを内包し、ミスリーディングにつながりかねないからである。しかしながら、確定事実の報告に終始するだけでは地震予知は実現しない。

筆者は、地震予知に関わる研究者は、常に予測に立ち向かうという明確な意志を持つべきであると考える。何らかの解析を行う際には、発生した事象の分析にとどまらず、それが意味する内容を推察し、将来の予測にまで言及する、という姿勢を意識的に貫いてもら

いたいと思う。例えば、4-1節④紀伊半島南東沖地震の評価を採り上げれば、この地震については、事後の海底地震観測も含め、地震の起き方や性格に関していくつもの報告がなされている。その反面、それが東海地震や東南海地震の発生にどう影響するかを推察した議論はなかなか見当たらない。瀬野(2006)²³⁾が述べたように、後に起きる地震への影響がプラス側かマイナス側かの判定さえ困難であるというのが実情であろう。しかし、筆者は、決して断定的な結論を求めているわけではない。むしろ、さまざまな推察が提示され、それをめぐる活発な議論が起きることを期待するのである。

ひとつのモデルケースとして2007年1月に名古屋大学で開かれた東海地震に関する研究会「徹底討論!!! 次の東海地震はどこだ!?!」⁴⁹⁾を紹介しておこう。これは単なる研究発表会ではなく、公開されたパネルディスカッションの下、5人の研究者がそれぞれの研究成果を披露すると同時に、いくつかの課題を掲げて議論を交わし、認識を統合していこうとする珍しい研究会であった。東海地震の発生時期については結論に至らなかったものの、課題を明示して議論しようとするその姿勢が筆者の目には新鮮に映った。

このような研究会を学会の主導で組織しようということもひとつの提案として掲げることはできる。しかし、筆者が真に求めるものはそれ以前の段階にある。予測に関して確かなことは誰にも言えない。その場合でも、それぞれの研究者が自らの研究事跡を通して想像をめぐらし、研究者としての推論を述べることならばできるはずである。統一見解が得られなくても構

わない。大事なことは、多様な推論があって、それをめぐる議論が活発に交わされることである。そして、そうした議論の過程が社会に正確に伝えられることである。

予知・予測に踏み込む場合には、

それがどのように簡単なものであれ、結果的に誤りとなる可能性を避けることはできない。それを承知した上で、誤った説をなすという誇りをも辞さない、という一種の覚悟が必要となろう。東海地震

に関わる、あるいは地震予知に関わる研究者には、その道にある研究者の役割としてこの覚悟をもつことを望みたい。

7 おわりに

「2009年駿河湾の地震」の翌日、新聞報道各紙の社説は一斉に東海地震に備える防災体制について書きたてた。中でも日経新聞は、「科学的検証があいまいなまま、行政や学界の都合で決めた想定や前提が一人歩きする愚は避けたい」と、現在の判定会体制に批判的な主張を展開した。プレスリップの出現を前提とした予知の科学的検証が曖昧な状態にあることは事実である。しかし、プレスリップの存在が否定されたわけではない。判定会が「実践としての東海地震予知」においてプレスリップの出現に依拠するのは、現実的判断として間違っていない。「見逃しはない」と言い切った当初の見得が、今ではもはや通用しなくなったという変節はあるが、これについても、「東

海地震といえども見逃す可能性はある」という言い換えを通じて、判定会の予知情報に全面的に依存することの危険性がすでに世の中に周知されている。そうした限定条件の下で、たとえ50%以下の予知率であるとしても判定会体制には今日的意義がある。

むしろ判定会に関わる問題があるとすると、それは、東海地震予知の一切が判定会に委ねられていると誤解することである。学会での東海地震に関する発表が決して活発とは言えないことから、研究者自身にすらこのような思い込みがあるのではないかと疑われる。東海の状態の複雑さから見れば、判定会が下す判断の領域は、きわめて限定的と言わねばならない。今般の駿河湾の地震に直面して判

定会が出したコメントは「東海地震と直接の関連はない」というものであった。東海地震の直前予知に限定した判定会の判断としては妥当である。しかし社会は、それだけでは納得しない。予測に関する物言いが常に曖昧であり、時として間違いもある、ということは承知の上で、それでも、駿河湾の地震と東海地震がどうつながるかを知りたいのである。

研究者には各自がそれまで築いてきた知識と判断力に基づいて、どう推論するかが求められている。「東海地震予知に関する研究と実践のはざま」を意識するならば、判定会とは異なる立場にある研究者の果たすべき役割は重く大きい。

参考文献

- 1) 松村正三、科学技術動向、10、No.8、25-39、2008
- 2) 石橋克彦、地震学会1976年度秋季大会予稿集、30-34、1976
- 3) Mogi, K., Bull. Earthq. Res. Inst., 48, 413-430, 1970
- 4) Mogi, K., Pageoph., 22, 765-780, 1984
- 5) 中央防災会議東海地震に関する専門調査会：<http://www.bousai.go.jp/jishin/chubou/tokai/7/7-02.pdf>, 2001
- 6) 上垣内修・東田進也、地震2、59、61-67、2006
- 7) 加藤尚之・平澤朋郎、月刊地球、号外14、126-132、1996
- 8) 地震調査委員会：<http://www.jishin.go.jp/main/choukihyoka/ichiran.pdf>, 2009
- 9) Ishibashi, K., Am. Geophys. Union, Maurice Ewing Ser., 4, 297-332, 1981
- 10) 寒川旭、地震考古学－遺跡が語る地震の歴史（中公新書）、中央公論社
- 11) Seno, T., S. Stein, and A. E. Gripp, J. Geophys. Res., 98 (B10), 17941-17948, 1993
- 12) 松田時彦、地震2、28、269-283、1975
- 13) Mazzotti, S., P. Henry, X. Le Pichon, and T. Sagiya, Earth Planet. Sci. Lett., 172, 1-10, 1999

- 14) 小林昭夫・山本剛靖・中村浩二・木村一洋、地震 2、59、19-27、2006
- 15) 小原一成、地震予知連絡会会報、第 82 卷、447-476、2009
- 16) 松原誠・笠原敬司・小原一成・木村尚紀・針生義勝、日本地球惑星科学連合 2006 年大会予稿集、S206-P003、2006
- 17) 鷺谷威、日本地震学会 2004 年度秋季大会予稿集、A045、2004
- 18) 小笠原宏・川方裕則・石井紘・中谷正生・矢部康男・飯尾能久・南アフリカ金鉱山における半制御地震発生実験国際共同研究グループ、地震特集号、61、S563-S573、2009
- 19) Linde, A. T. and I. S. Sacks, Earth Planet. Sci. Lett., 203, 265-275, 2002
- 20) Kanamori, H., Phys. Earth Interiors, 5, 129-139, 1972
- 21) 鷺谷威、日本地球惑星科学連合 2007 年大会予稿集、S151-006、2007
- 22) 松村正三、地震 2、54、449-463、2002
- 23) 瀬野徹三：<http://www.eri.u-tokyo.ac.jp/seno/off.kii.pen.html>, 2006
- 24) Obara, K., Science, 296, 1679, 2002
- 25) 西出則武・橋本徹夫・舟崎淳・中澤博志・岡正善・上野寛・山田尚幸・笹川巖・前田憲二・杉本和信・高嶋鉄也、地球惑星科学関連学会 2000 年合同大会、Sk-P002、2000
- 26) Ito, Y., K. Obara, K. Shiomi, S. Sekine, and H. Hirose, Science, 315, 503-506, 2007
- 27) Ito, Y. and K. Obara, Geophys. Res. Lett., 33, L09302, doi : 10.1029/2006GL025883, 2006
- 28) Yamamoto, E., S. Matsumura, and T. Ohkubo, Earth Planets Space, 57, 917-923, 2005
- 29) 小林昭夫・吉田明夫、2004、測地学会誌、50、209-212、2004
- 30) 川崎一郎、スロー地震とは何か、NHK ブックス、269pp、2006
- 31) Kodaira, S., A. Nakanishi, J. -O. Park, A. Ito, T. Tsuru, and Y. Kaneda, Geophys. Res. Lett., 30 (6), 1339, doi : 10.1029/2002GL016595, 2003
- 32) 松村正三・里村幹夫・内海さや香、地震 2、60、267-277、2008
- 33) 神田克久・武村雅之・宇佐美龍夫、地震 2、57、153-170、2004
- 34) Ruina, A., J. Geophys. Res., 88, 10359-10370, 1983
- 35) 堀高峰・光井能麻・馬場俊孝・加藤尚之・平原和朗・金田義行、地球惑星科学関連学会 2006 年合同大会、S109-P009, 2006
- 36) 弘瀬冬樹・前田憲二・高山博之、地球惑星科学関連学会 2008 年合同大会、S142-P010、2008
- 37) 吉田真吾・加藤尚之、地球惑星科学関連学会 2002 年合同大会、S040-003、2002
- 38) 芝崎文一郎・布樹輝、日本地震学会 2007 年度秋季大会予稿集、P2-030、2007
- 39) Tanaka, S., M. Ohtake, and H. Sato, J. Geophys. Res., 107 (B10), 2211, doi : 10.1029/2001JB001577, 2002
- 40) Tanaka, S., M. Ohtake, and H. Sato, Earth Planets Space, 56, 511-515, 2004
- 41) Pollitz, F. F. and I. S. Sacks, Bull. Seism. Soc. Am., 85, 796-807, 1995
- 42) 松村正三、地震予知連絡会会報、第 82 卷、258-261、2009
- 43) Kobayashi, A., A. Yoshida, T. Yamamoto, and H. Takayama, Earth Planets Space, 57, 507-531, 2005
- 44) 国土地理院、地震予知連絡会会報、第 82 卷、262-309、2009
- 45) Igarashi, G., Geophys. Res. Lett., 27, 1973-1976, 2000
- 46) 川崎一郎・岡田義光、月刊地球、号外 33、149-157、2001
- 47) 山岡耕春・河村将・廣瀬仁・藤井直之・平原和朗、日本地震学会 2001 年度秋季大会予稿集、A42、2001
- 48) 瀬野徹三、月刊地球、25、80-87、2003
- 49) 名古屋大学地震火山・防災研究センター、徹底討論 !!! 次の東海地震はどこだ!?, 96pp、2007

執筆者プロフィール



松村 正三

科学技術動向研究センター 客員研究官
(独) 防災科学技術研究所
<http://www.bosai.go.jp/>

専門は地震学。微小地震観測を通じて大地震の前兆現象検知を目指している。特に東海地震を対象にして、地震活動パタンの変化からスロースリップや準静的滑りにともなう応力再配分の状況を把握したいと考えている。地震調査研究推進本部専門委員。理学博士。

数値シミュレーションにおける ソフトウェア研究開発の動向

—並列分散型のハードウェアとソフトウェア自動チューニング—

古川 貴雄
推進分野ユニット

野村 稔
客員研究官

1 はじめに

コンピュータの性能向上は半導体プロセスの微細化によるCPU(中央演算処理装置)の動作周波数に依存してきたが、2005年頃から発熱・消費電力やリーク電流増大の問題で頭打ち傾向になった。そのため、近年では、動作周波数を抑え、汎用処理を実行するコアを複数もつマルチコアプロセッサを用いた並列処理によるコンピュータの性能向上が中心課題とされている⁸⁾。2000年以降、マルチコアCPUや高速数値演算の可能なGPU(Graphics Processing Unit)、および、汎用処理に対応するコアと数値演算に特化したコアを組み合わせたヘテロジニアスプロセッサが市販されている。こうした並列化によるハードウェアの高性能化が実現される一方、皮肉なことに、実効効率の高い数値シミュレ

ーションソフトウェア開発は格段に難しくなった。

並列化されたハードウェアの性能を引き出すためには、ハードウェアアーキテクチャに合わせた計算アルゴリズムを選択し、実効効率が向上するようにプログラムを調整しなければならない。この作業はソフトウェアチューニングと呼ばれ、高性能なソフトウェア開発では不可欠な要素である。しかし、最近のハードウェアアーキテクチャがあまりにも複雑になり、人手によってソフトウェアをチューニングすることは作業負荷の問題だけでなく技術的にも困難になりつつある。また、開発したソフトウェア資産を維持していくためには、ハードウェアアーキテクチャの世代交代が早いので、その都度、アーキテクチャの変更に合わせて

ソフトウェアの修正とチューニングを行わなければならない。そのために、維持コストが高くなるという問題もある。このようにソフトウェアをハードウェアアーキテクチャの変化に合わせて修正する作業は、数値シミュレーション研究開発を効率的に進める上での大きな障害である。

本稿ではまず、ハードウェアアーキテクチャとソフトウェアアプリケーションの動向を述べ、次に高性能数値シミュレーションのための並列分散型のソフトウェア構成を概観する。そして、今後さらに高性能ソフトウェア開発で重要な役割を果たすであろう自動チューニングについて詳述する。最後に、ソフトウェア基盤技術の研究推進体制の新しい動きについても述べる。

2 ハードウェアアーキテクチャとソフトウェアアプリケーションの動向

2-1

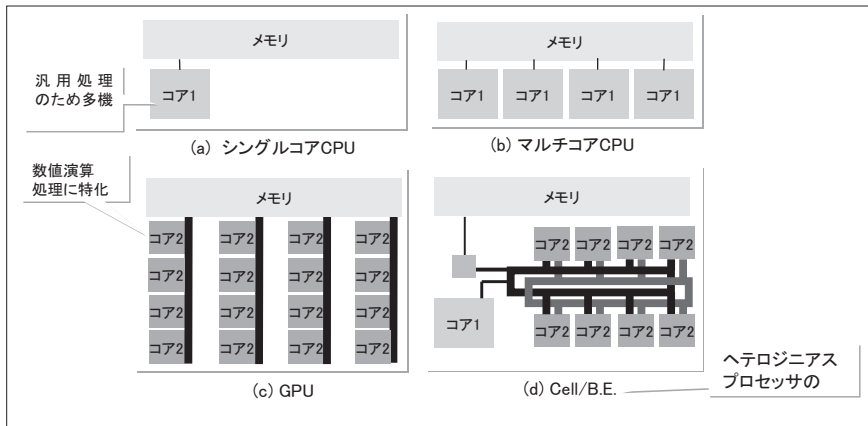
多様化するコモディティプロセッサとその変遷

コモディティプロセッサとは、パーソナルコンピュータやサーバー、ゲーム機用に大量生産される低価格なプロセッサである(マイクロプロセッサ、MPUともいう)。

近年では、科学技術計算用の高性能コンピュータでもコモディティプロセッサを用いた並列分散システムの採用が増えてきている。

図表1(a)～(d)に代表的なコ

図表1 コモディティプロセッサのアーキテクチャ



参考文献 9、20、26) を基に科学技術動向研究センターで作成

コモディティプロセッサのアーキテクチャを示す。(a)シングルコアCPU、(b)マルチコアCPUは汎用処理用に設計され、命令数も多く複雑な処理が可能な処理装置コア1とデータを格納するメモリから構成される。例えば、積の計算といった1つの命令を連続に配置されたデータに適用して演算を高速化する機能や、依存関係のない処理を独立に実行して処理全体を高速化する機能をもつ。

下段の(c) GPUや(d) Cell/B.E. (Broadband Engine)TMでは特定の数値演算に特化した処理装置であるコア2を中心にした構成が採られている。当初、(c) GPUや(d) Cell/B.E.は3次元コンピュータグラフィックスで多用されるベクトルの内積・外積計算や映像・音声データ圧縮符号化・復号化処理の数値演算を独立に実行して、CPUに負荷を与えないことを目的に開発されていた。しかし、近年では、数値演算能力の高さが注目され、(c) GPUや(d) Cell/B.E.をコアとして数値シミュレーションを行う例が増えている^{注1)}。

ヘテロジニアスプロセッサの一つである図表1 (d)のCell/B.E.^{注2)}

は、通常のCPUと比較して、以下の改良がなされている^{9、28)}。

●プロセッサ内データ転送効率の改善

処理速度向上の点で、メモリ上のデータ読み込み・書き込みとコア間のデータ転送速度がボトルネックとなる。そこで、高速データ転送を実現するために、数値演算の速いコア2間の接続に二重の高速リング状ネットワークを用いている。

●汎用処理用コアと数値演算用コアを用いた処理の効率化と省電力化

処理内容に応じて汎用処理を行うコア1と数値演算を担当する複数のコア2に処理を分けることで実効効率を向上させ、かつ、消費電力を低減している。また、CPUのトランジスタ数の増加は、素子の消費電力増加だけでなくチップの冷却に使用される電力も増やすことになるため、複雑な汎用処理に対応したコア1を増やすのではなく、数値演算を行うコア2を増やすことでチップ全体のトランジスタ数を抑えている。

図表2にハードウェアアーキテクチャの変化と高性能ソフトウェア開発の関係を示す。コンピュータの心臓部である演算処理をつかさどるCPUは、過去長期にわたって、シングルコアCPUが全盛であった。その後、マルチコアCPUの登場、そして、GPUとマルチコアCPUをともに使用するなどさまざまなアーキテクチャが採用されてきた。さらに機能の異なるコアが1つのチップ上で構成されるヘテロジニアスプロセッサが現れた。そして、これらのアーキテクチャを混在させて並列化するヘテロジニアス並列分散システムへと変化しつつある。現状は、以上述べたさまざまなハードウェアアーキテクチャが混在されて使用されている。そしてこの混在傾向は継続するといえる。

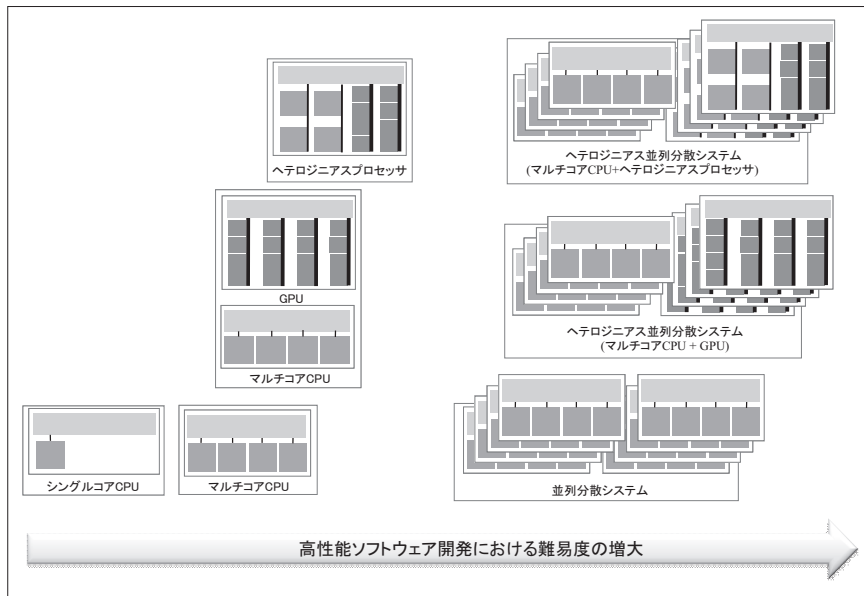
ヘテロジニアスプロセッサは、IBM社のCell/B.E.TMだけでなくAMD社のStreamComputing²¹⁾、Intel社のLarrabee²³⁾の動向から、今後さらに広く普及することが予想される。しかし、現在のアーキテクチャではCPU-GPU間のデータ転送がボトルネックになりがちである。必ずしもすべてのアプリケーション領域で言えるわけではないが、短期的にはCPUと数値計算の高速なGPU、もしくは、ヘテロジニアスプロセッサを混在させたヘテロジニアス並列分散システムによる数値シミュレーションが、同一CPUから構成されるホモジニアス並列分散システムを用いた場合より費用対効果の点でも優れているとも言われている。

これらのソフトウェア開発面での難易度について述べれば、シングルコアCPUと比較して、ヘテロジニアス並列分散システムの高性能

注1：GPUで扱うことのできる浮動小数点データが単精度から倍精度に拡張され、さらに、IEEE754浮動小数点演算標準に準拠したことで計算精度が要求される数値シミュレーションでも利用しやすくなった。

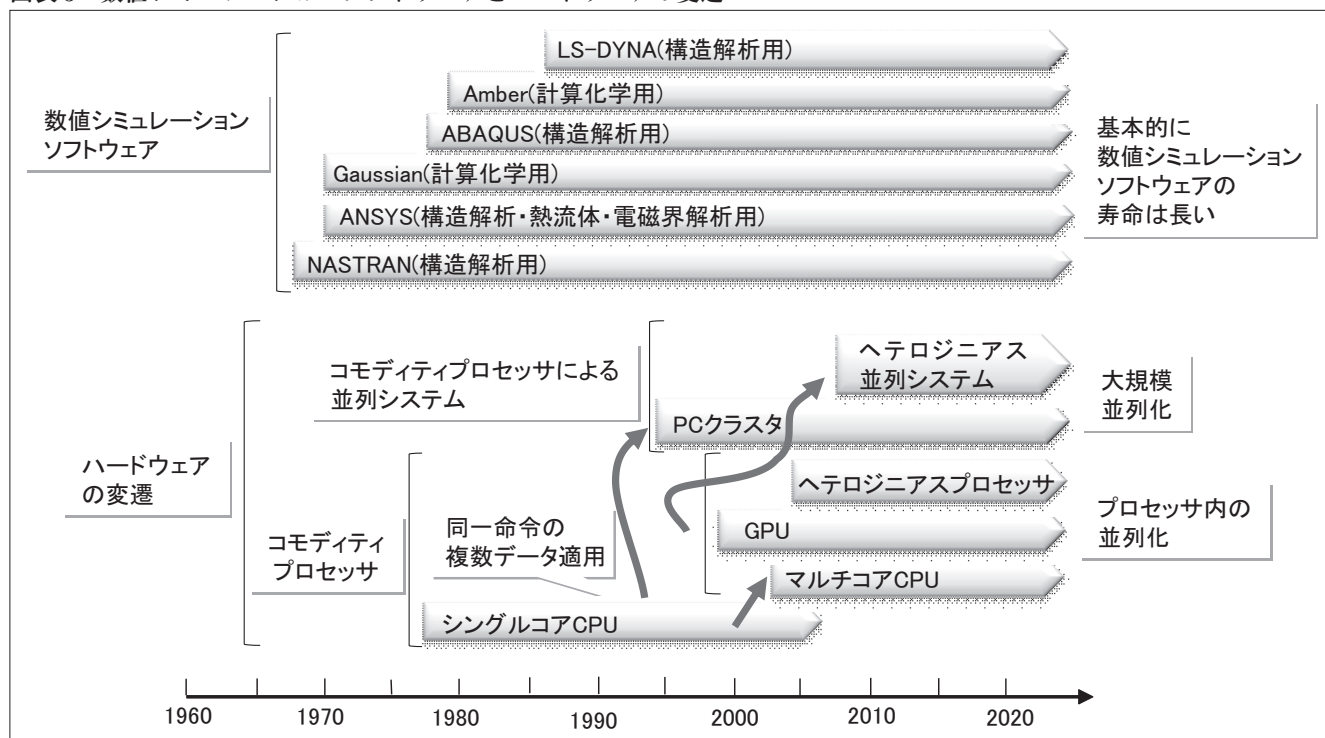
注2：IBM社のPowerXCellTMは、Cell/B.E.の倍精度浮動小数点演算を高速化した製品である。

図表2 ハードウェアアーキテクチャの変化と高性能ソフトウェア開発における難易度の増大



参考文献 9、20、26) を基に科学技術動向研究センターで作成

図表3 数値シミュレーションソフトウェアとハードウェアの変遷



参考文献 11~16) を基に科学技術動向研究センターで作成

能ソフトウェア開発は極めて難しい。並列分散システムでは、プロセッサ間のデータ分割・統合処理やデータ転送速度などの処理が実効効率に与える影響が大きくなり、これらを意識したソフトウェア開発が求められるからである。特に、機能の異なるコアが組み合わせられたヘテロジニアスプロセッサを用いた並列分散システムでは、各コ

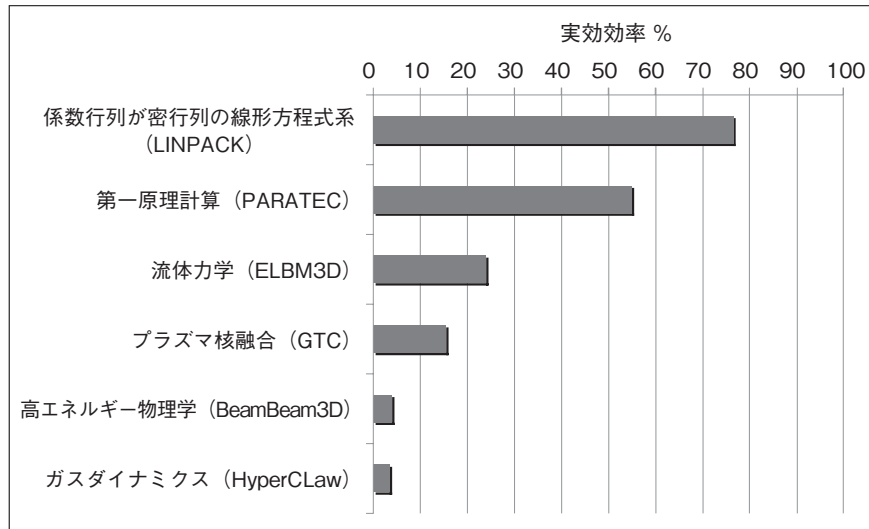
アの処理を効率的に連携させないと十分な性能が得られず、高性能ソフトウェア開発は一層難しいものとなっている。

2-2

数値シミュレーションソフトウェアの寿命

数値シミュレーションソフトウェアの寿命は、ハードウェアの寿命に比較すれば長いと言える。図表3には代表的な数値シミュレーションソフトウェアとコモディティプロセッサを中心としたハードウェアの変遷を示す。現在でも利用されている代表的な数値シミュレーションソフトウェアは約40年の歴史がある。一方、コモ

図表 4 並列分散システムにおける数値シミュレーションソフトウェアの実効効率 (AMD 社 Opteron プロセッサ 512 個を用いた並列分散システムによる計算結果)



参考文献⁵⁾ を基に科学技術動向研究センターで作成

ディティプロセッサは短期間にアーキテクチャが変更され続けている(ここでは、これをハードウェアの寿命が短いとしている)。数値シミュレーションソフトウェアの寿命を延ばすために、言い換えると、同じソフトウェアをアーキテクチャが変更されたハードウェアでも使い続けるために、新たなハードウェアに合わせてソフトウェアをその都度修正しながら使用している。例えば、主な構造解析用や計算化学用の数値シミュレーションソフトウェアは、1960年代後半に登場し、機能拡張をしながら現在まで使用され続けている。

2-3

並列分散システムにおける数値シミュレーションソフトウェアの実効効率

並列分散システムでは、一般に数

値シミュレーションソフトウェアの実効効率が極めて低いことが知られている。実効効率とは理論性能を100%とした場合の実効性能の比である。図表4に、Olikerら⁵⁾が評価した数値シミュレーションソフトウェアとその実効効率の関係をまとめる。対象としたのはさまざまな科学技術領域から選択した以下に示す問題である。()内に実効効率を調べるために使用された数値シミュレーションソフトウェアの名称を示す。

- 係数行列が密行列の線形方程式系 (LINPACK)
- 第一原理計算 (PARATEC)
- プラズマ核融合 (GTC)
- 流体力学 (ELBM3D)
- 高エネルギー物理学 (BeamBeam3D)
- ガスダイナミクス (HyperCFlow)

図表4に示した実効効率はAMD社のOpteronプロセッサ512個を用いた並列分散システムで得られ

た結果である。実効効率は、高性能コンピュータの性能測定に使用されるベンチマークプログラムであるLINPACKで70%以上になるが、PARATECを除いた数値シミュレーションソフトウェアの実効効率は25%にも満たないことが、図表4の例からわかる^{注3)}。このように並列処理を導入しても数値シミュレーションソフトウェアの実効効率が低いことがあるのは、逐次処理を前提に作成されている場合、処理の依存関係により並列化されない部分が残るためである。さらに、仮に並列化が可能であっても、並列分散システムの場合には、プロセッサへのデータ転送の遅延や負荷分散の問題により実効効率を向上させることがさらに困難になる。このように、ハードウェアの高性能化に対して、数値シミュレーションソフトウェアの進歩が必ずしも追いついていないのが実情である。

注3: PARATECで実効効率が約55%と例外的に高いのは、計算の大部分を占めるFFT (Fast Fourier Transform) が並列処理により高速化されているためである。

3 数値シミュレーションの構成要素とソフトウェア基盤技術

数値シミュレーションの構成要素は非常に多くからなり、これらを整理すると、図表5に示す理論、数値モデル、アルゴリズム、ソフトウェア、ハードウェアの5階層として表される¹⁷⁾。

図表5の左側には従来の構成要素を、そして右側には新たに考慮すべき構成要素を示している。ここで、ソフトウェア基盤技術とは、ソフトウェア階層に分類される要素で、ハードウェアと連携する機能のように複数の数値シミュレーション間で共通的に利用されるものを指す。

図表左側の「従来の数値シミュレーションの構成要素」に示すように、従来からも各階層でさまざまな要素を考慮して数値シミュレーションソフトウェアの開発をする必要があったが、ソフトウェアが

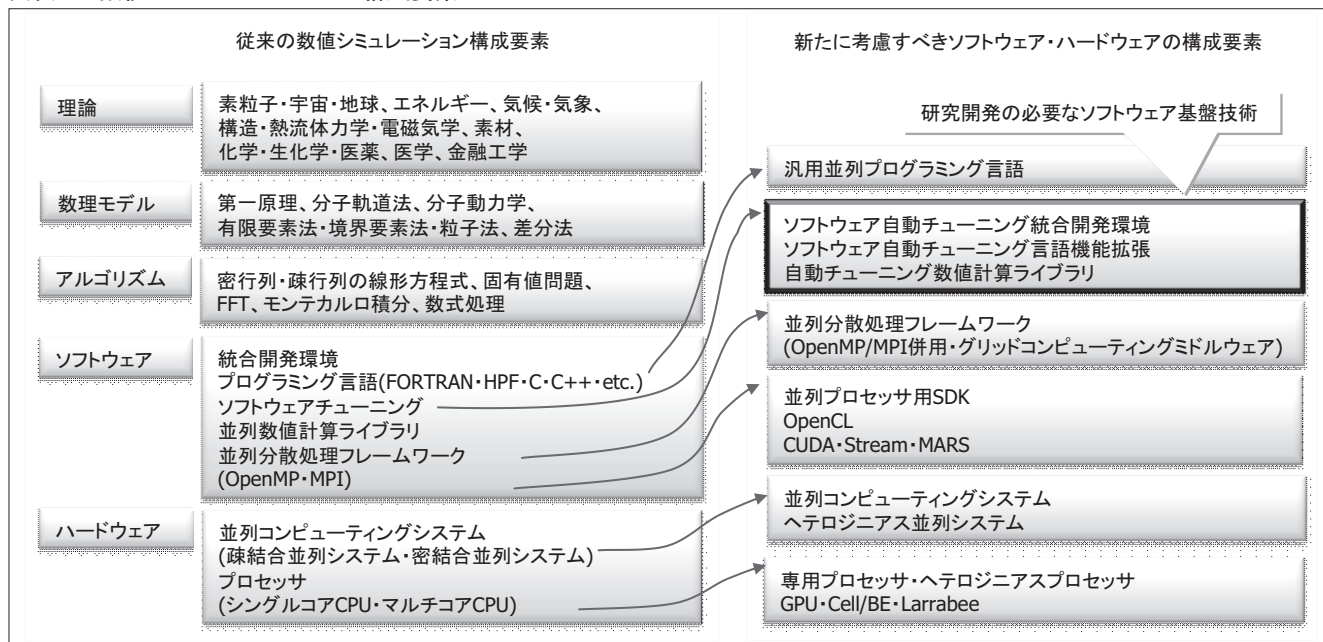
逐次処理中心の場合には、複雑な並列分散処理を行うプログラムを作成する必要がなかった。しかし、並列分散システム上で動く数値シミュレーションが求められるようになる、アルゴリズムはもちろん、場合によっては数理モデルや理論もハードウェアアーキテクチャを意識して考えなければならない状況になっている。つまり、かつては各階層の独立性が高かったが、並列分散システムの利用が進むことで各階層が密接に関係するように変化してきている。

図表右側の「新たに考慮すべきソフトウェア・ハードウェアの構成要素」としては、ハードウェア階層での、GPU、ヘテロジニアスプロセッサ、これらを用いたヘテロジニアス並列システムの登場が挙げられる。ソフトウェアの階層では、

これらに対応した並列プロセッサ用の SDK (Software Development Kit) として CUDA²⁰⁾ や MARS²⁴⁾、統一規格の OpenCL²⁵⁾ が加わる^{注4)}。さらに、並列分散処理フレームワークに MPI・OpenMP の併用やグリッドコンピューティング用ミドルウェアも新たな要素として追加される。

新しいハードウェアの性能を引き出す高性能数値シミュレーションソフトウェアの開発では、これらの要素を考慮しなければならない。このような状況のため、高性能ソフトウェア開発においてソフトウェア自動チューニング関連技術が基盤技術として、より重要な役割を担うようになっている。これらについては、以降で詳述する。

図表5 数値シミュレーションの構成要素



参考文献 9, 17~25) を基に科学技術動向研究センターで作成

注4：Khronos Groupで策定しているマルチコアCPU, GPU, Cell/B.E.を統一的に扱うことのできるAPI (Application Program Interface)の仕様である。ただし、OpenCL 1.0では各種アーキテクチャに特化したプログラムを独自に記述する必要がある。

4 ソフトウェア自動チューニング

4-1

数値シミュレーションにおけるソフトウェア自動チューニング

ソフトウェアチューニングは、ハードウェアの性能を限界まで引き出すようにソフトウェアを調整する作業である。数値シミュレーションにおけるソフトウェア自動チューニングとは、ハードウェアに合わせたソフトウェアの調整を自動的に行い、手間のかかる手動チューニングをせずに実効効率を向上させることである。

図表6に、ソフトウェア自動チューニングの概要について例を挙げて説明する。例としては、偏微分方程式で記述される基礎方程式を有限要素法で解く場合を考える。この場合、数値シミュレーションでは線形方程式を解くことになる。ここで、計算速度や計算精度に影響を与える要因として図表6の下段に示す項目が存在し、これらがチューニング条件となる。チューニング条件は、シミュレーションモデル、線形方程式の数値

的性質、求解アルゴリズム、ソフトウェア品質、コンピュータシステムに分かれ、それぞれについて、さらに影響を与える要因がある。これらの要因を図表では矢印付きの記述として示している。

基本的なソフトウェア自動チューニングのプロセスは以下の5つのプロセスから成る。

- (1) 実験 チューニング条件を設定してソフトウェアを実行すること
- (2) 測定 実験結果から測定項目を求め評価関数を算出すること
- (3) 分析 測定項目、評価関数から性能モデルを推定すること
- (4) 学習 チューニング条件を自動修正すること
- (5) 決定 最適なチューニング条件を決定すること

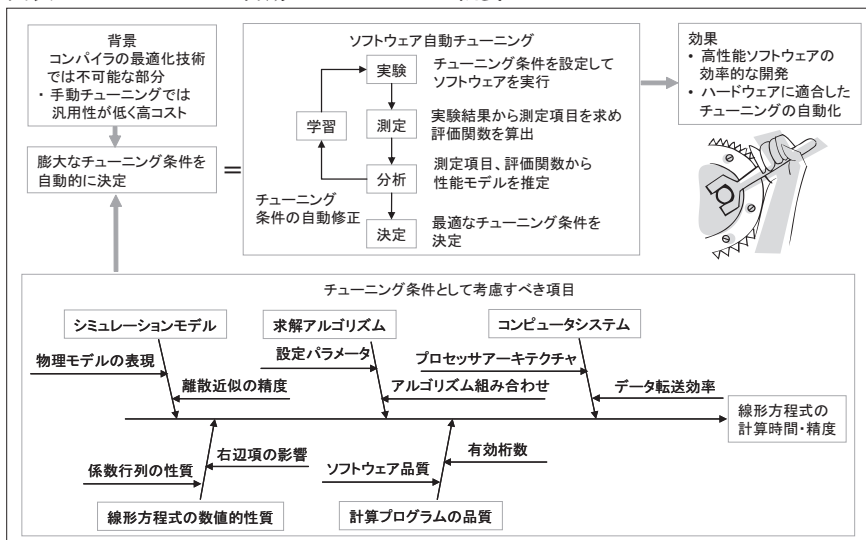
実際には(1)~(4)を繰り返してチューニング条件を変化させながら性能を向上させ、最終的に(5)で最適なチューニング条件を求める。なお、これらチューニング条件のうち、一部は従来のコンパイラの最適化技術によって自動化できる項目もあるが、アルゴリズム選択

やパラメータ調整までは対応ができない。そこで、数値シミュレーションの計算速度等の評価関数を設定して最適化問題を解くことにより最適なアルゴリズム選択やパラメータ調整といったチューニングの自動化が可能になる。

次に、ソフトウェアチューニングの効果と自動チューニングの必要性を、サイズが400×400の行列積計算を例にとり説明する。図表7のヒストグラムは、400×400の行列積計算で16,129通りの全チューニング条件について計算速度を求め、同一の計算速度となる結果をカウントしたものである。この場合、計算速度の最大値は1459MFLOPSであるが、ヒストグラムには1300, 1175, 1100MFLOPSに同一速度となるチューニング条件数のピークが存在し、計算速度を評価関数とした場合の最適解が容易には得られないことを示している。また、チューニング条件によって計算速度が大きく変化するため、最大計算速度の1/2にも満たない600MFLOPS付近にも小さなピークが存在する。探索空間をすべて調べれば最適解は得られるが、チューニングの計算コストが大きくなってしまふ。そこで、膨大なチューニング条件の候補から性能が最大化される条件を効率的に見つけ出す自動チューニング手法が必要になる。

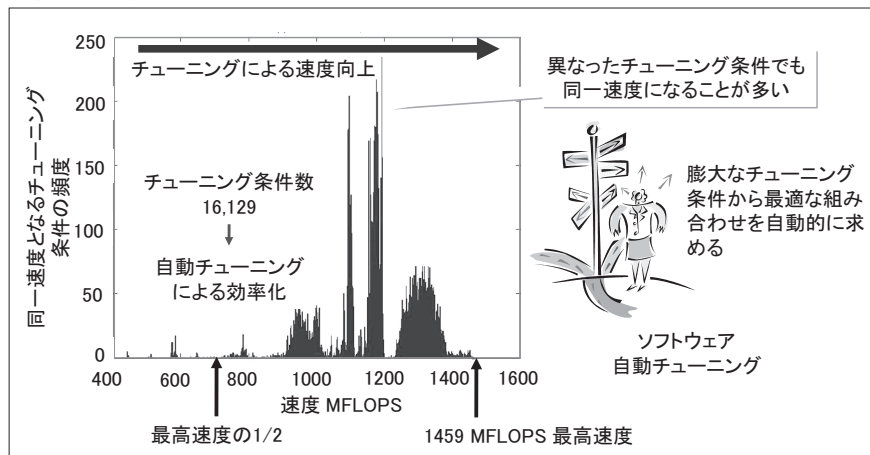
ソフトウェア自動チューニングは、静的な自動チューニング、動的な自動チューニング、高度な自動チューニングの機能に分けられる。自動チューニング機能付き数値計算ライブラリや自動チューニング機能付き数値シミュレーションソフトウェアはこれらの機能を用いて作成される。そして、自動チューニング機能の開発では、自

図表6 ソフトウェア自動チューニングの概要



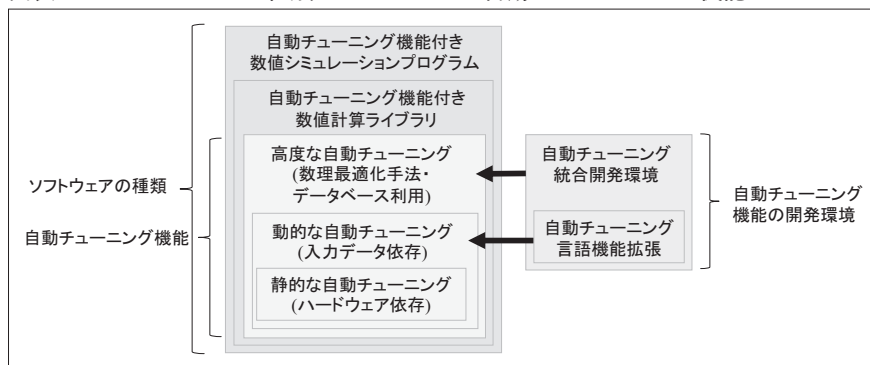
参考文献^{30~33)}を基に科学技術動向研究センターで作成

図表7 自動チューニング条件と行列積演算の速度分布



参考文献⁴⁰⁾を基に科学技術動向研究センターで作成

図表8 ソフトウェアの種類とソフトウェア自動チューニングの機能



参考文献^{30~33)、40、42)}を基に科学技術動向研究センターで作成

動チューニング統合環境、自動チューニング言語拡張機能など適用する開発環境が異なる。これらの関係を図表8に示す。

過去の開発経緯を述べると、最初にソフトウェア自動チューニングが適用されたのは数値計算ライブラリのハードウェア依存部分であった。これは、現在、静的な自動チューニングと呼ばれている。次に、数値計算の入力データ依存性に注目して最適化を行うようになり、これを現在は動的な自動チューニングと呼んでいる。動的な自動チューニングには、静的なチューニング機能に加えて行列のサイズや非零要素の分布を調べて適切なチューニング条件を自動的に決定する機能

が含まれる。この動的な自動チューニング機能を実現するためには、開発環境としてプログラミング言語の機能拡張(言語機能拡張)を行う必要があった。さらに高度な自動チューニングを行うために、数理最適化手法やデータベースが利用されるようになり、現在も性能改善効果の検証を含めた自動チューニングソフトウェアのための統合開発環境を構築する研究が行われている。しかし、適用範囲は今のところ数値計算ライブラリに限定されており、今後は、行列計算や信号処理に帰結しない数値シミュレーションでも適用可能な自動チューニング研究の進展が期待されている。

自動チューニング機能付き数値計算ライブラリ

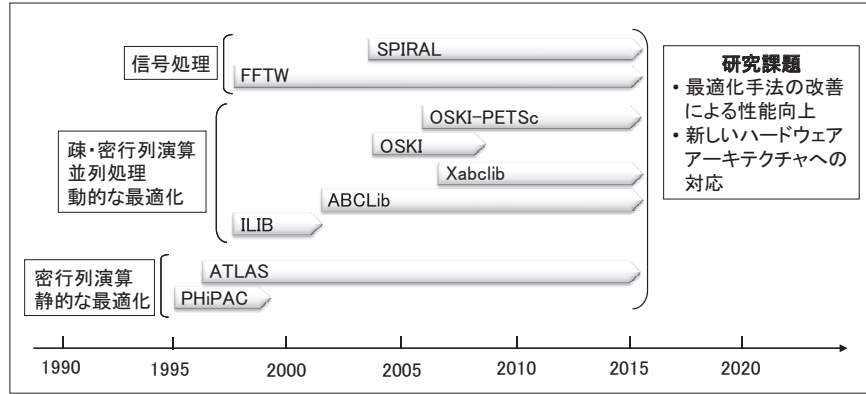
数値シミュレーションでは行列演算や信号処理の数値計算ライブラリの使用頻度が高く、これらの数値計算ライブラリに依存する計算が数値シミュレーションのボトルネックとなり性能を左右することが多い。そこで、線形方程式系・固有値問題・FFTなどの数値計算ライブラリに自動チューニング機能を組み込むことで、これらのライブラリを用いた数値シミュレーション性能は改善できる。

自動チューニング機能付き数値計算ライブラリも、ハードウェア依存部分を対象とした静的な自動チューニング機能付き数値計算ライブラリと、入力データに依存する部分を含めた動的な自動チューニング機能付き数値計算ライブラリに分類される。これら自動チューニング機能付き数値計算ライブラリのチューニング方法の特徴を以下に示す^{注5)}。

- (a) 静的自動チューニング機能付き数値計算ライブラリ
 - インストール時にプロセッサのコア数やデータ転送速度などのハードウェア性能を評価して、性能が最大化されるようにライブラリの計算パラメータを調整する。
- (b) 動的自動チューニング機能付き数値計算ライブラリ
 - 行列のサイズや疎行列の非零要素の分布によって線形方程式や固有値問題のアルゴリズムや計算パラメータを選択する。

注5：線形方程式系と固有値計算問題では、アルゴリズムや使用される初期値やパラメータによっては反復計算で収束せず、解が得られないことがある。このような場合にも、適切な初期値やパラメータを決定する自動チューニング機能付き数値計算ライブラリは有用である。

図表9 自動チューニング機能付き数値計算ライブラリの開発動向



参考文献^{32, 33, 38, 39, 43)}を基に科学技術動向研究センターで作成

図表10 研究開発されている自動チューニング機能付き数値計算ライブラリ

名称	種類	組織	機能
PHiPAC (Portable High Performance ANSI C)	密行列演算	米国 カリフォルニア大学 バークレー校	行列乗算ループをハードウェアアーキテクチャに合わせて自動的に高速化するライブラリ。コードジェネレータで複数のソースコードを生成し、処理速度の速いライブラリプログラムを選択する機能を実現している。具体的には、局所的な変数を導入してキャッシュによるメモリアクセス向上や、ループアンローリングによる依存関係のない部分の並列処理と分岐命令の排除により処理効率を改善する。
ATLAS (Automatically Tuned Linear Algebra Software)	密行列演算	米国 テネシー大学	BLAS(Basic Linear Algebra Subprograms)およびLAPACK (Linear Algebra PACKage)の一部を含む自動チューニング機能を有する行列演算ライブラリ。行列演算の性能に影響するブロックサイズやハードウェアに適したプログラムを複数用意しておき、ライブラリのインストール時に実行時間をタイマーで計測して適切なプログラムを選択する機能がある。
FFTW (the Fastest Fourier Transform in the West)	信号処理	米国 マサチューセッツ 工科大学	インストール時だけでなく実行時に入力データサイズに応じてメモリアクセス回数や演算量を少なくする自動チューニング機能をもつ高速フーリエ変換のライブラリ。現在ではMPIを用いた並列処理版やCell B.E.用のライブラリも開発されている。
SPIRAL (Software/Hardware Generation for DSP Algorithms)	信号処理	米国 カーネギーメロン 大学	FFT, DCT, Wavelet変換など信号処理用の自動チューニング機能を含むライブラリ。
OSKI (Optimized Sparse Kernel Interface)	疎行列演算	米国 カリフォルニア大学 バークレー校 ローレンス・リバモ ア国立研究所	BeBOP(Berkley Benchmarking and Optimization Group)で開発された疎行列用の自動チューニングライブラリ。MPI, BLASを用いた数値計算ライブラリPETScと連携すること並列処理にも対応する。
ILIB (Intelligent LIBrary)	密・疎行列演算	東京大学	係数行列が疎行列となる線形方程式の並列処理アルゴリズムが基になっており、非零要素の分布に応じて適したアルゴリズムを選択する機能をもつライブラリ。また、係数行列が密行列となる線形方程式系や固有値問題にも対応している。
ABCLib (Automatically Blocking and Communication-adjustment Library)	密・疎行列演算	電気通信大学	並列分散システム用の数値計算ライブラリ。キャッシュサイズのパラメータチューニングに相当する自動ブロック化と入力データに応じて自動的に最適なデータ通信方式を選択する機能がある。
Xabclib (eXtended ABCLib)	密・疎行列演算	東京大学	Open ATLibを用いてABCLibを拡張した自動チューニング並列処理ライブラリ。LANCZOS法による固有値問題やGMRES法による線形方程式系に対応している。

参考文献^{32, 33, 38, 39, 43)}を基に科学技術動向研究センターで作成

動的に割り当てられるプロセッサやコア数に応じてチューニングを行う。これらの自動チューニング機能付き数値計算ライブラリの開発動向の歴史と今後予想される発展を図表9

にまとめる。PHiPAC, ATLASは静的な最適化を行う密行列演算用ライブラリである。信号処理用のFFTW, SPIRAL, 行列演算用のOSKI, ILIB, ABCLib, Xabclibは、並列分散システムに対応した動的

自動チューニング機能付き数値計算ライブラリである。ILIBが機能拡張されてABCLibになり、さらに、実行時の数値計算アルゴリズム選択と通信方式のチューニングが強化されてXabclibになってい

る³³⁾。個々の自動チューニング機能付き数値計算ライブラリの開発動向を図表10に示す。図表10でわかるように多くの研究組織が、この自動チューニング機能付き数値計算ライブラリの研究に取り組んでいる。

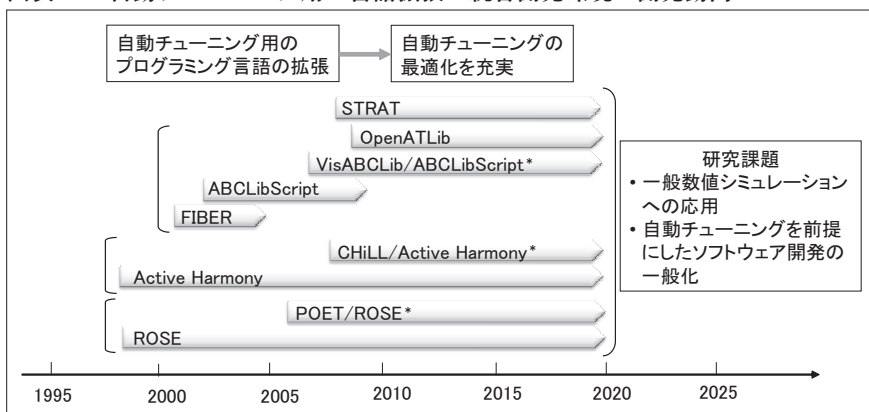
総じて、最適化手法の改善による性能向上、新しいハードウェアアーキテクチャにおける自動チューニングが今後の研究課題と言える。新しいアーキテクチャとして代表的なヘテロジニアス並列分散システムについては、人手によるチューニングですら研究段階にあり^{35、36)}、今後の自動チューニングへの移行が期待される。

4-3

自動チューニングのための言語機能拡張・統合開発環境

前述したように、動的な自動チューニング機能を実現するために、既存のプログラミング言語に自動チューニング用の言語機能拡張が行われている。さらに、高度な自動チューニングのためには、性能評価や解析機能を含む自動チューニングの支援ツールが統合開発環境として利用されることになる。また、自動チューニング機能を含めたソースコードを作成しておけば、並列分散システムの規模が変化した場合にも、その変化に応じた性能改善が容易にでき、結果としてハードウェア依存性が抑えられてソフトウェアのポータビリティが向上するという利点もある。

図表11 自動チューニング用の言語拡張・統合開発環境の開発動向



参考文献^{31、34、41、42、44)}を基に科学技術動向研究センターで作成

図表11にソフトウェア自動チューニングのための言語機能拡張と統合開発環境の開発の歴史と今後予想される開発動向^{31、33、40~43)}をまとめる。ここで、*のついたものが統合開発環境で、残りが言語機能拡張である。ROSE, Active Harmonyは各種プログラミング言語で記述されたソースコードに、自動チューニング用の性能計測機能を追加する機能をもつ言語機能拡張ツールである。POET, CHILLはそれぞれROSE, Active Harmonyと組み合わせることで、ソフトウェア自動チューニングの各種パラメータを最適化する機能を持つ統合開発環境である。ABCLibScriptは自動チューニング用の言語機能拡張で多機能であるが、対応プログラミング言語は現時点でFORTRANのみという問題があり、C言語対応が予定されている。VisABCLibはABCLibScriptに対応したソフトウェア自動チューニングの統合開発環境で、ソフトウェア性能の可視化機能が充実しているという特徴がある。また、SPRATはマルチコアCPU用とGPU用のCUDAのソー

スコードを生成する機能をもつ言語機能拡張であり、ハードウェアの性能に応じて、自動的にCPU、GPUの計算を切り替えることで高性能化を実現している³⁴⁾。

自動チューニング用の言語機能拡張・統合開発環境で高性能数値計算ライブラリが開発されているが、一般の数値シミュレーションで自動チューニング機能を適用するには行列演算や信号処理とは異なった課題が残る。例えば、流体と剛体や弾性体との相互作用や、分子間の動力的な相互作用などのシミュレーションでは、反復計算のループ内に条件分岐が存在することが多く、高性能数値計算ライブラリ用の自動チューニング手法では十分に対応できない。そこで、このような一般的なシミュレーションの自動チューニングを前提にしたソフトウェア開発が研究課題となっている。

図表12に示すように、言語機能拡張・統合開発環境についても、多くの研究機関で研究に取り組んでいる。

5 ソフトウェア自動チューニング応用に向けた新しい動き

ソフトウェア自動チューニングは、数値計算ライブラリの高性能化から研究が始められたという経

緯がある。そのため、線形方程式系や固有値問題など数値計算ライブラリの高性能化に重点が置かれ、

現状では、一般的な数値シミュレーションソフトウェアへの応用が積極的に行われているとは言い難い。

図表 12 研究開発されている自動チューニング言語機能拡張・統合開発環境の特徴

名称	組織	機能
ROSE	米国 ローレンス・リ バモア国立研 究所	Fortran, C, C++, OpenMP, UPCで記述されたソースコードを変換するための言語機能拡張。ROSEを用いることによって、各種プログラミング言語で記述されたソースコードに自動チューニング用の機能を実装することができる。
POET(Parameterized Optimizations for Empirical Tuning)	米国 テキサス大学 オースチン校	自動チューニングのパラメータ調整に、全サーチ、シンプレックス法、シミュレーテッドアニーリング、遺伝的アルゴリズムなどの適化手法を適用する統合開発環境。ROSEと組み合わせて利用する。
Active Harmony	米国 メリーランド大 学	ソフトウェア実行時にソフトウェアの性能を測定してフィードバックする機能などを含む自動チューニングの言語機能拡張。
CHILL	米国 南カリフォルニ ア大学	探索空間内の単体に相当する領域を変化させてパラメータ調整を行う最適化手法を導入した自動チューニングの統合開発環境。Active Harmonyと組み合わせて利用する。
FIBER (Framework of Install-time, Before Execute-time, and Run-time Auto-tuning)	東京大学	数値計算ライブラリのインストール時だけでなく、実行前、実行時の自動化まで含めた開発フレームワーク。以下の自動チューニングに対応している。 ・インストール時 ライブラリのインストールされるハードウェアに合わせた最適化 ・実行前 行列のサイズ等、問題に特化した最適化 ・実行時 疎行列の非零要素の分布を考慮した最適化、通信方式の最適化
ABCLibScript	電気通信大学	数値シミュレーションに特化した自動チューニング記述言語。ブロック幅調整、アルゴリズム選択、ループアンローリング調整の3つのチューニングを自動的に行う。FORTRANで記述されたソースコードにABCLibScript用の記述を追加して、ABCLibCodeGenによりソースコードを自動生成し、次に、性能サンプリングを繰り返すことでチューニングされたライブラリを自動生成する。
VizABCLib	電気通信大学	ABCLibScriptを用いたプログラム開発支援ツールであり以下の機能がある。 ・自動チューニングコードのインタラクティブ表示機能 ・自動チューニング過程のログ機能 ・性能予測値と実測値の比較機能 ・体系的性能評価機能 ・計算スキーム、アルゴリズムなど自動チューニングで必要される情報のデータベース。
SPRAT	東北大学	CPU, GPUに依存しないプログラミング言語のソースコードから、CPU用にはC++のソースコードを生成し、GPU用にはCUDAのソースコードを出力するコンパイラ。

参考文献^{31~34, 41~44)}を基に科学技術動向研究センターで作成

一つの理由として、ソフトウェア自動チューニングを研究する計算機科学研究者と、各分野の数値シミュレーション研究者の連携が不十分であることが挙げられる。この連携を進める例として、米国エネルギー省科学局のSciDAC-2 (Scientific Discovery through Advanced Computing) というプログラムに、自動チューニングを含むソフトウェア性能工学を中心に研究を行っている PERI (Performance Engineering Research Institute)⁴⁵⁾ というプロジェクトがある。以下ではその活動内容を紹介する。

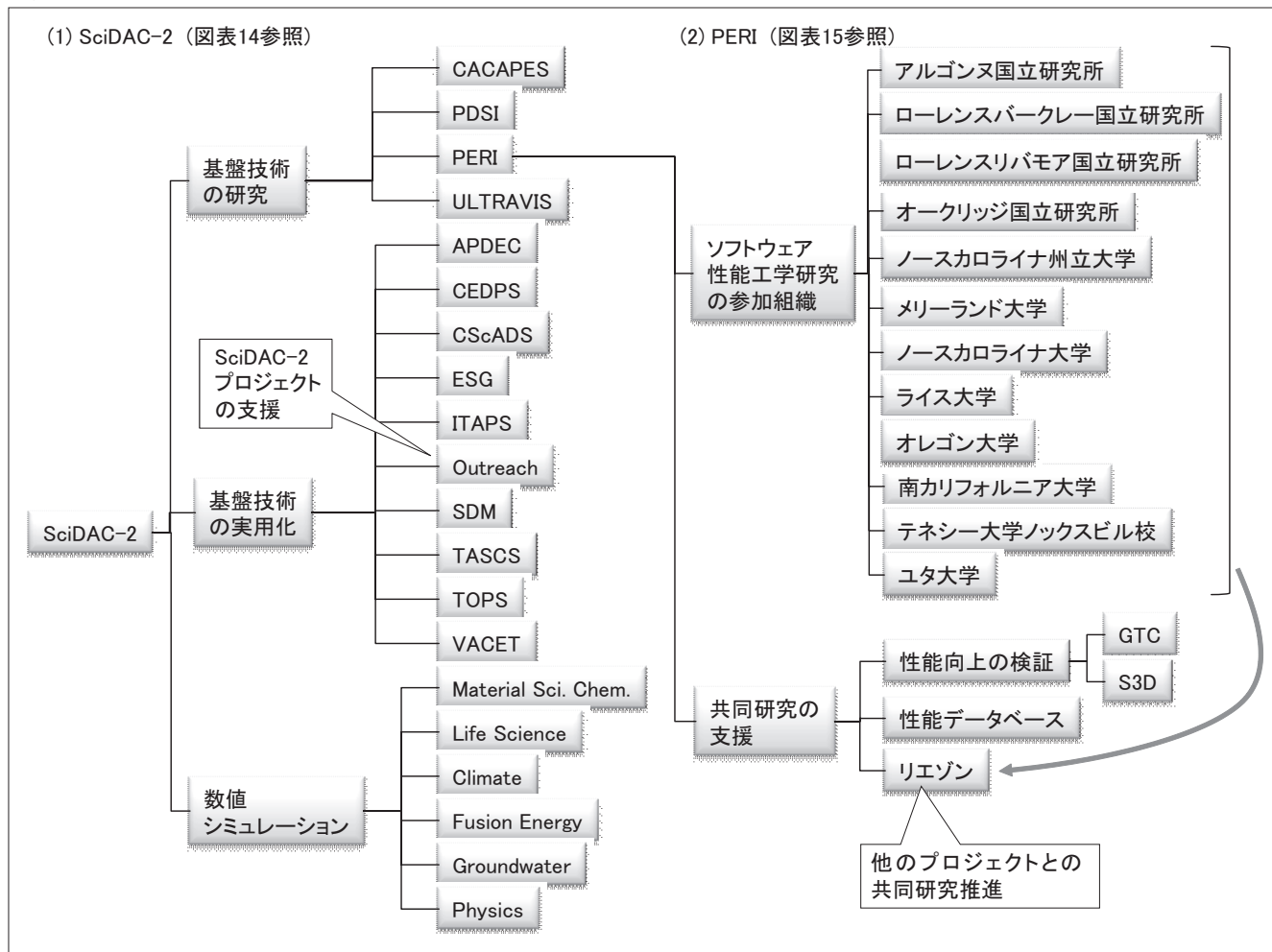
PERI が開始された背景は次の通りである。2001 年に開始された SciDAC-1 というプログラムでは PERI の前身にあたる PERC (Per-

formance Evaluation Research Center) というプロジェクトで、高性能数値シミュレーションプログラムのベンチマーク・解析と性能のモデル化・最適化研究を行い、その応用では気候予測モデル・プラズマ乱流・加速器シミュレーションを行っていた。これらの研究と応用から、2章で述べたような問題、すなわち、ソフトウェアに対してハードウェアの寿命が短く、新しいハードウェアに対応させるソフトウェア修正が研究を円滑に進める上で障害であることが明らかになった。また、数値シミュレーション研究者はソースコードの移植に関する情報を示さず、一方、計算機科学の研究者は既存ソフトウェアを移植するツールに興味を持たないという、それぞれの

研究者の問題も指摘された。このような問題を考慮しつつ、PERC の後継プロジェクトとして PERI というプロジェクトが開始された。

現在、米国エネルギー省科学局の ASCR (Advanced Scientific Computing Research) というプログラムに SciDAC、INCITE (Innovative and Novel Computational Impact on Theory and Experiment) の両プログラムが含まれる。SciDAC-2 は数値シミュレーションのソフトウェア基盤技術に関する研究を行うプログラムであり、一方、INCITE は主に数値シミュレーションのための高性能ハードウェアと計算リソースを提供するプログラムである。

図表13 SciDAC-2プログラムとその中のPERIプロジェクトの構成



参考文献⁴⁵⁾を基に科学技術動向研究センターで作成

5-1

SciDAC-2における 数値シミュレーション 基盤ソフトウェアの研究

SciDAC-2は、図表13に示すように基盤技術の研究・基盤技術の実用化・数値シミュレーションを担当する3つの組織に大別される。図表14に2009年のSciDAC-2の各プロジェクトと研究テーマをまとめる。SciDAC-2内には、研究成果の公開などのOutreachセンターという支援組織も存在するのが特徴である。このOutreachセンターがプロジェクトの情報公開だけでなく、ユーザーサポートやトレーニングを担当し、プロジェクト間の連携を積極的に進める上で

重要な役割を果たしている。

5-2

PERIというプログラムにおけるソフトウェア性能工学の研究

(1) PERIの役割

SciDAC-2プログラムの中で、他のプロジェクトで進められている数値シミュレーション研究に高性能ソフトウェア開発技術を提供することがPERI(ソフトウェア性能工学研究所)の目的である。PERIは、以下の研究開発を担当している。

- 数値シミュレーションの性能モデル化
開発したソフトウェアで得られ

る処理速度を正確に予測する。

- ソフトウェア自動チューニングの研究開発
研究者が行うプログラミングの負担を軽減するという難易度が高い長期的な研究目標を立てている。
- アプリケーション連携
PERIの研究成果をSciDAC-2内の他プロジェクトが研究開発している数値シミュレーションに応用する。

(2) PERIの組織と運営

PERIの組織と運営に着目すると、その特徴は、図表5に示した数値シミュレーションの構成要素を包括的に捉え、ソフトウェア基盤技術におけるソフトウェア性能工学の研究開発を中心にして、生産性の高い組織を構成し運営して

図表 14 SciDAC-2 プログラムに含まれる組織と課題

	組織の略称	組織の名称(日本語)	課題
基盤技術の研究	CACAPES	組み合わせ科学計算とベタスケールシミュレーション研究所	並列計算の負荷分散、自動微分、疎行列計算
	PDSI	ペタスケールデータストレージ研究所	データストレージを中心に仕様、標準規格、アルゴリズム、性能計測ツール開発
	PERI	ソフトウェア性能工学研究所	ソフトウェア性能モデル化と性能予測、ソフトウェア自動チューニング、アプリケーションを対象としたソフトウェア性能工学
	ULTRAVIS	超スケール可視化研究所	膨大なデータ集合から潜在的な情報を抽出する可視化ツールの開発
基盤技術の実用化	APDEC	応用偏微分方程式センター	偏微分方程式のためのアルゴリズムとソフトウェアフレームワーク
	CEDPS	分散ペタスケール科学センター	高信頼性、高性能なデータ転送機構とグリッドにおけるリソース割り当てと仮想化環境
	CScADS	スケーラブルアプリケーション開発ソフトウェアセンター	ペタスケール計算プラットフォーム、通信ライブラリ、数学ライブラリ、オープンソースコンパイラ
	ESG	地球システムグリッドセンター	気候、気象予測のための大気、海洋、陸が統合された次世代シミュレーションのデータ生成
	ITAPS	先端ペタスケールシミュレーションのための共同利用技術センター	SciDACアプリケーションで相互利用、あるいは、互換性のあるメッシュ、ジオメトリ等のデータ操作ツール
	Outreach	アウトリーチセンター	プロジェクト間の情報提供やサポートサービス、トレーニング、新しい組織へのSciDAC研究成果の移転
	SDM	科学データ管理センター	科学技術計算ワークフローの自動化、データマイニング、データ解析、ストレージへの効率的なアクセス
	TASCS	先端科学コンポーネントソフトウェア技術センター	並列シミュレーション、ハードウェア、ソフトウェアの品質、頑健性、動的適合性、ユーザビリティ向上を目的としたコンポーネントソフトウェア化
	TOPS	ペタスケール最適シミュレーション	スケーラブルソルバーとアプリケーションのボトルネック解消のための研究開発
	VACET	可視化・解析センター	データの可視化、解析ソフトウェア研究開発
数値シミュレーション	Material Sci. Chem.	素材科学・化学	ペタスケール計算化学・素材モデリング、ナノ構造の量子シミュレーション、応力下の亀裂解析、流体内における化学反応と相互作用
	Life Science	微生物・細菌が環境に与える影響とエネルギー生成	微生物による水素生成、バイオエタノール、エネルギー生成
	Climate	気候・気象	地球気候の物理的・化学的モデル、雲のモデル化と検証、大域気候モデルの改善、大気モデル計算の連続的・動的かつ適応的なグリッドコンピューティング
	Fusion Energy	代替クリーンエネルギー	プラズマ核融合のための乱流解析
	Groundwater	地下水	汚染物質の地下水による拡散、地表化における地形・生物・化学モデル
	Physics	物理	素粒子、核エネルギー、宇宙物理学、衝撃波の乱流解析、オープンサイエンスグリッド

参考文献⁴⁵⁾を基に科学技術動向研究センターで作成

いる点にある。具体的には、研究開発の目的を共有し、個々の基礎研究と応用研究開発を有機的に機能させることで、結果として実用化までの障害を早期に取り除くという点で優れていると考えられる。

図表 13 に示したように、PERI の中にはソフトウェア性能工学の研究を進めるグループと数値シミュレーション応用などの共同研究を支援するグループが含まれている。図表 15 には、その両方を同時に行う 4 つの国立研究所と 8 大学の担当課題を示す。各プロジェクトの研究開発内容だけでなく、PERI 内の組織、SciDAC-2、INCITE な

ど他のプロジェクトとの連携を含めた活動が決められているのが特徴と言える。共同研究を支援する組織にはプラズマ核融合シミュレーションへの応用(GTC)、流体シミュレーション(S3D)、性能データベース構築、他のプロジェクトとの共同研究における窓口となるリエゾンも含まれる。ただし、リエゾンはソフトウェア性能工学の研究を進めるグループのメンバーと重複した体制をとっている。

PERI の全体会議は毎年開催し、隔週で電話会議を行うことで連携を緊密にし、予定外の会議は月曜の午前で開催するといった取り決

めも公開されている。さらに、限られたリソースを重要な SciDAC-2 プロジェクトに集中させ、ソフトウェア性能工学とは関係のない一般の計算機科学や数学の研究組織とならないように注意が払われている。このように、効率的な研究マネジメントが行われ、さらに、組織としては SciDAC-2 プロジェクトの支援を行う Outreach センター、および、PERI 内のリエゾンが、研究成果の数値シミュレーション応用を円滑に進める役割を担っている。

図表 15 PERIの参加組織と担当する課題

組織	担当する課題
アルゴンヌ国立研究所	数値シミュレーションのためのサービスインフラストラクチャソフトウェア品質向上(TASCSと連携) ソフトウェア性能データベースのインタフェース拡張とアプリケーション開発者用の付加的な簡易インタフェースの追加 自動チューニングの学習を自動化するためのインターフェースの定義とコンポーネント実装 ハードウェア性能データベースを各アプリケーションで共有するインフラストラクチャ PerfExploereを用いた性能解析インターフェースの拡張 機械学習に基づく解析コンポーネントプロトタイプのプロバスタ化(オレゴン大学との連携) アルゴンヌ国立研究所のBlue Gene/Pとオークリッジ国立研究所のCray XT3で、FLASHアプリケーションの性能評価
ローレンスバークレー国立研究所	PERIプロジェクト管理 PERI、および、基盤技術の研究組織の進捗確認 プラズマ乱流解析チームの解析処理 新規太陽電池のための素材シミュレーション用の量子計算ソフトウェアのチューニング アプリケーションでのマルチコアプロセス用自動チューニング機能の開発とテスト
ローレンスリバモア国立研究所	自動チューニングのためのツールであるPOETを利用した経験的なチューニング ソフトウェア性能評価、特にクロスプラットフォームモデルの調査継続 他組織のPERI研究者と連携して各種性能予測ツールを統合 ソフトウェア自動チューニング、性能予測ツールのSciDACアプリケーション適用 MPIアプリケーションの挙動を示すモデル生成 通信パターンを計測するMPIレーシングメカニズムの拡張 MPIイベントの性能分布を計測する機能の実装 タイムスタンプを含み理想的なトレースを行うための先進的手法の調査 性能向上検証チームの活動促進
オークリッジ国立研究所	性能向上を検証するチームで必要とされるネットワークポロジィやルーティング設定のインターコネクシミュレータ開発の継続 大規模システムでの性能計測のためのモデルやシミュレーション結果の比較 スケーリングボトルネックを特定するモデルの高精度化 気候・気象、核融合、マテリアルサイエンス、地下水アプリケーションの共同研究サポート PERIの研究成果応用の促進 SciDAC外プロジェクトとの連携推進
ノースカロライナ州立大学	アプリケーションチームの共同研究サポートの継続し、Cray XT4, BlueGene/Pでの性能解析と最適化を行う アプリケーションチームとPETSc開発者、利用者とのコミュニケーションを継続し、I/O、ユーザールーチンを改善
ライス大学	OSのハードウェアカウンタ機能を用いた性能サンプリングの問題を解決するためにCray, IBMとの共同作業を継続 OSの問題が解決した段階でHPCToolkitを導入 HPCToolkitの最適化コードのパスプロファイリング機能の拡張を継続 OpenMP, MPI+OpenMPプログラム用性能解析手法の拡張を継続 SciDAC, INCITEアプリケーションチームとの連携
カリフォルニア大学サンディエゴ校	ネットワークシミュレータの α テスト ネットワークシミュレータの β リリース 大規模データ、プロセスシステムでのメモリトレース推定のための基本的な研究開発
メリーランド大学	経験的な検索機能を含む自動チューニングフレームワークの統合 Active HarmonyとCHiLLフレームワークの統合を完了し評価を開始 PERI-DB検索APIの開発 性能向上検証チームのサポート
オレゴン大学	ベタスケールアプリケーションの性能計測と解析のサポート継続 性能向上検証チームの流体解析、プラズマ乱流解析アプリケーションの性能計測と解析の継続 PERI-DBグループと性能データベースの統合を継続 性能向上の検証チームのデータの解析にPerfExplorerを利用
南カリフォルニア大学	PERIプロジェクト全体の管理 自動チューニング利用者のためのAPI開発の継続 自動チューニングとCHiLLに関係する要求仕様を決めるための研究 SciDAC, INCITEアプリケーションチームとの連携 データコピーライブラリの研究開発(ユタ大学と連携) Active HarmonyとCHiLLの統合を継続(メリーランド大学、ユタ大学との共同研究)
テネシー大学ノックスビル校	PERI性能モデリング、自動チューニングをサポートするクロスプラットフォームの性能カウンタライブラリの開発を継続 自動チューニングのための経験的な探索手法の研究とPERI自動チューニングフレームワークへの統合 マルチコアアーキテクチャのための最適化手法の研究とPERI自動チューニングフレームワークへの統合 性能向上の検証チームのデータベース構築に協力
ユタ大学	PERIの自動チューニンググループの牽引し、外部の共同研究者と報告書作成、ポスター発表、論文発表を調整 自動チューニングコンパイラ技術にスレッドメカニズムを導入 データコピーライブラリの開発(南カリフォルニア大学と共同研究) Active HarmonyとCHiLLの統合を継続(南カリフォルニア大学、メリーランド大学との連携) CHiLLの安定版リリースのための作業(南カリフォルニア大学と連携)

参考文献⁴⁶⁾を基に科学技術動向研究センターで作成

6 日本国内における研究推進のための課題

これまで述べたように、コモディティプロセッサを用いた並列分散システム上での数値シミュレーションが増えつつあるが、これらのハードウェアの性能を活かす高性能ソフトウェア開発が極めて難しくなっている。そのため、今後の高性能ソフトウェア開発では自動チューニング技術の中核にしたソフトウェア基盤技術が重要な役割を担っている。特にヘテロジニアス並列分散システムについては自動化以前のチューニング自体が研究段階にあり、自動チューニングの実用化を目指した研究を進める必要がある。

日本国内でも数値計算を専門とする大学、および、企業の研究者を中心に、自動チューニング研究会が発足しており、自動チューニング技術に関する課題調査の報告⁴⁸⁾と自

動チューニング記述言語 OpenATLib での API (Application Program Interface) の仕様策定を行っている。また、2006 年以降に自動チューニング研究会が開催している国際ワークショップ iWAPT (International Workshop on Automatic Performance Tuning) は海外の研究者からも注目されている。

このように日本国内では米国と比較しても遜色のない研究が行われていると思われるが、その推進体制には課題が残る。日本では、研究者を中心に組織が組まれているため、研究から最終的な数値シミュレーションへの応用、実用化までのロードマップ作成や研究者間での役割分担やリソース共有を十分に行っていない。特に大学や公的研究機関で行うソフトウェア基盤技術の研究開発は、米国の

SciDAC-2 やその中の PERI のように関連する応用プロジェクトを俯瞰した上で、研究と応用を並行して進めるのが最も効率がよいと考えられる。今後、日本国内の研究組織には、基盤技術研究と応用研究を効率的に行うための研究マネージメントの再考を期待したい。

謝辞

東京大学情報基盤センター 中島研吾 教授、片桐 孝洋 特任准教授、(独)理化学研究所 情報基盤センター 伊藤 祥司氏、東京工業大学 情報理工学研究所 遠藤 敏夫 特任准教授、(独)海洋研究開発機構 渡邊 國彦センター長、(株)フィックスターズ 三木 聡 CEO、田村陽介 CTO から、本稿をまとめるにあたり貴重な意見をいただきました、ここに深謝致します。

略語表

ABCLib	: Automatically Blocking and Communication-adjustment Library
APDEC	: Applied Partial Differential Equations Center
ASCR	: Advanced Scientific Computing Research
ATLAS	: Automatically Tuned Linear Algebra Software
CACAPES	: Combinatorial Scientific Computing and Petascale Simulations Institute
CEDPS	: Center for Enabling Distributed Petascale Science
CScADS	: Center for Scalable Application Development Software
ESG	: Earth System Grid Center for Enabled Technologies
FFT	: Fast Fourier Transform
FFTW	: the Fastest Fourier Transform in the West
FIBER	: Framework of Install-time Before Execute-time, and Run-time auto-tuning
GPU	: Graphics Processing Unit
GTC	: Gyrokinetic Turbulence Code
HPC	: High Performance Computing
ILIB	: Intelligent Library
INCITE	: Innovative and Novel Computational Impact on Theory and Experiment
ITAPS	: Interoperable Technologies for Advanced Petascale Simulations Center
iWapt	: International Workshop on Automatic Performance Tuning
OSKI	: Optimized Sparse Kernel Interface
PARATEC	: Parallel Total Energy Code

PDSI : Petascale Data Storage Institute
PHiPAC : Portable High Performance ANSI C
PERC : Performance Evaluation Research Center
PERI : Performance Engineering Research Institute
SciDAC : Scientific Discovery through Advanced Computing
SDK : Software Development Kit
SDM : Scientific Data Management Center
SPIRAL : Software/Hardware Generation for DSP algorithms
TASCS : Center for Technology for Advanced Scientific Component Software
TOPS : Towards Optimal Petascale Simulations
ULTRAVIS : Institute for Ultra-Scale Visualization
VACET : Visualization and Analytics Center for Enabling Technologies
Xabclib : eXtended ABCLib

参考文献

- 1) World Technology Evaluation Center, Inc., WTEC Report on International Assessment of Research and Development in Simulation-Based Engineering and Science, (Apr. 2009)
- 2) 野村稔、米国政府の高性能コンピューティングへの取り組み、科学技術動向、No. 47、(2005.02)
- 3) 館山佳尚、ナノテクノロジー開発の促進に向けたナノシミュレーション技術の普及、科学技術動向、No. 59、(2006.02)
- 4) 野村稔、欧州におけるベタスケールコンピューティングの動向、科学技術動向、No. 79、(2008.10)
- 5) Leonid Oliker, Andrew Cannig, Jonathan Carter, Costin Iancu, Michael Lijewski, Shoaib Kamil, John Shalf, Hangzhang Shan, Eric Strohmaier, Stephan Ethier, Tom Godate, Scientific Application Performance on Candidate PetaScale Plathome, Proc. IPDSP, (2007)
- 6) 佐藤文俊、平野敏行、阿部俊彦、上村典子、恒川直樹、西村康幸、山口 智美、湯川英宜、石川健太郎、千葉貢治、密度汎関数法によるタンパク質の全電子シミュレーション、第28回日本シミュレーション学会大会発表講演論文集、pp. 163-166、(2009.06)
- 7) 独立行政法人海洋研究開発機構、地球シミュレータ産業利用シンポジウム発表資料集、(2008.09)
- 8) 高性能コンピュータへの搭載プロセッサ数の増加、科学技術動向、No. 90、(2008.09)
- 9) IBM, Cell Broadband Engine Technology
http://www-03.ibm.com/technology/resources/technology_cell_pdf_CellBrBandEngineWhitePaper.pdf
- 10) Richard Walsh, Steve Conway, Earl C. Joseph, Jie Wu, With Its New PowerXCell 8i Product Line, IBM Intends Take Accelerated Processing into the HPC Mainstream, August 2008
http://www-03.ibm.com/technology/resources/technology_cell_IDC_report_on_PowerXCell.pdf
- 11) MSC NASTRAN, <http://www.mscsoftware.co.jp/products/nastran/>
- 12) ANSYS Inc., <http://www.ansys.com/>
- 13) The Official Gaussian Website, <http://www.gaussian.com/>
- 14) SIMULIA, <http://www.simulia.com/>
- 15) Amber and NPACI : A Strategic Application Collaboration for Molecular Dynamics
http://www.sdsc.edu/pub/envision/v14.4/sac_amber.html
- 16) Livermore Software Technology Group, <http://www.lstc.com>
- 17) 中島研吾、東京大学における全学的HPC教育の試み「学際計算科学・工学人材育成プログラム」
<http://hss.iic.hokudai.ac.jp/WS07/pdf/Nakajima.pdf>
- 18) OpenMP, <http://openmp.org/wp/>
- 19) MPICH2, <http://www.mcs.anl.gov/research/projects/mpich2/>
- 20) CUDA Zone, http://www.nvidia.com/object/cuda_home.html#

- 21) ATI Stream Software Development Kit
<http://developer.amd.com/gpu/ATIStreamSDK/Pages/default.aspx>
- 22) General-Purpose Computation on Graphics Hardware, <http://gpgpu.org/>
- 23) Aleksey Bader et al., Game Physics Performance on the Larrabee Architecture
http://download.intel.com/technology/architecture-silicon/GamePhysicsOnLarrabee_paper.pdf
- 24) MARS : Multicore Application Runtime System
<http://ftp.uk.linux.org/pub/linux/Sony-PS3/mars/1.1.4/mars-docs-1.1.4/html/>
- 25) The Khronos OpenCL Working, The OpenCL Specification, Version 1.0, Document Revision 29
http://www.khronos.org/news/press/releases/the_khronos_group_releases_opencl_1.0_specification/
- 26) 遠藤敏夫、東京工業大学 TSUBAME における専用計算ユニット活用事例、情報処理、Vol. 50、No. 2、pp. 100-106、(2009.02)
- 27) 青木尊之、フル GPU による CFD アプリケーション、情報処理、Vol. 50、No. 2、pp. 107-115、(2009.02)
- 28) 塚本明、安田絹子、田村陽介、町田浩之、Cell/B.E. プログラミングの特徴と活用事例の紹介、情報処理、Vol. 50、No. 2、pp. 116-128、(2009.02)
- 29) 成見哲、濱田剛、小西史一、専用計算ユニットによる粒子法シミュレーションの加速、情報処理、Vol. 50、No. 2、pp. 129-139、(2009.02)
- 30) 須田 礼仁、ソフトウェア自動チューニングの数理、情報処理、Vol. 50、No. 6、pp. 487-479、(2009.06)
- 31) 伊藤 祥司、ソフトウェア自動チューニングのための支援ツール、Vol. 50、No. 6、pp. 499-504、(2009.06)
- 32) 黒田久泰、直野健、岩下武史、自動チューニング機能付き数値計算ライブラリ、情報処理、Vol. 50、No. 6、pp. 505-511、(2009.06)
- 33) 片桐孝洋、ソフトウェア自動チューニング記述のための計算機言語、情報処理、Vol. 50、No. 6、pp. 494-498、(2009.06)
- 34) 滝沢寛之、GPU コンピューティングにおけるソフトウェア自動チューニング、情報処理、Vol. 50、No. 6、pp. 527-531、(2009.06)
- 35) 霜田善道、PowerXCell と線形計算、先駆的科学計算に関するフォーラム 2008 ～線形計算を中心に～、(2008.09)
- 36) 遠藤敏夫、額田彰、松岡聡、丸山直也、實本英之、四種プロセッサからなるヘテロ型スーパーコンピュータにおける Linpack チューニング、第 16 回「ハイパフォーマンスコンピューティングとアーキテクチャの評価」に関する北海道ワークショップ (HOKKE-2009)、(2009.02)
- 37) 片桐孝洋、櫻井隆雄、黒田久泰、直野健、中島研吾、OpenATLib : 汎用的な自動チューニングインターフェースの設計と実装、SwoPP2009、(2009.08)
- 38) Richard Vuduc, James W. Demmel, and Katherine A Yelick, OSKI : A library of automatically tuned sparse matrix kernel, Journal of Physics : Conference Series, Vol. 16, No. 1. 512 (2005)
- 39) M. Puschel et al., SPIRAL : A Generator for Platform-Adapted Libraries of Signal Processing Algorithm, International Journal of High Performance Computing Applications, Vol. 18, No. 1, 21-45 (2004)
- 40) Keith Seymour, Haihang You, Jack Dongarra, A Comparison of Search Heuristics for Empirical Code Optimization, Proc.2008 IEEE International Conference on Cluster Computing, pp. 421-429, (Oct. 2008)
- 41) ROSE, <http://www.rosecompiler.org/>
- 42) Qu Yi, Keith Seymour, Haihang You, Richard Vuduc, Dan Quinlan, POET : Parameterized Optimization for Empirical Tuning, Proc. IPDPS 2007, pp. 1-8, (Mar. 2007)
- 43) PETSc, <http://www.mcs.anl.gov/petsc/petsc-as/>
- 44) Ananta Tiwari, Chun Chen, Jacqueline Chame, Mary Hall, Jefferey K. Hollingsworth, A Scalable Autotuning Framework for Compiler Optimization, Proc. IPFPS 2009, (May. 2009)
- 45) SciDAC, <http://www.scidac.gov/>
- 46) Performance Engineering Research Institute, <http://www.peri-scidac.org/perci/>
- 47) The Office of Advanced Scientific Computing Research
<http://www.er.doe.gov/ascr/About/about.html>
- 48) 自動チューニング研究会、自動チューニング技術に関する課題調査、(2008.11)

執筆者プロフィール



古川 貴雄

推進分野ユニット
科学技術動向研究センター 上席研究官
<http://www.nistep.go.jp/index-j.html>

ITベンチャー企業でコンピュータグラフィックスを用いた設計支援システム、実時間動画像処理を応用したアプリケーションの研究開発に従事し、2009年より現職。



野村 稔

情報・通信ユニット
科学技術動向研究センター 客員研究官
<http://www.nistep.go.jp/index-j.html>

企業にてコンピュータ設計用CADの研究開発、ハイ・パフォーマンス・コンピューティング領域、ユビキタス領域のビジネス開発に従事後、現職。スーパーコンピュータ、LSI設計技術等、情報通信分野での科学技術動向に興味を持つ。

科学技術動向研究センターとは

2001年1月より内閣府総合科学技術会議が設置され、従来以上に戦略性を重視する政策立案が検討されています。科学技術政策研究所では、戦略策定に不可欠な重要科学技術分野の動向に関する調査・分析機能を充実・強化するため2001年1月より新たに「科学技術動向研究センター」を設立いたしました。当センターでは、「科学技術基本計画」の策定に資する最新の科学技術動向に係る情報の収集や今後の方向性についての調査・研究に、下図に示すような体制で取り組んでいます。

センターがとりまとめた成果は、適宜、総合科学技術会議、文部科学省へ政策立案に資する資料として提供しております。

センターの具体的な活動は以下の3つです。

1 「科学技術専門家ネットワーク」による科学技術動向分析

我が国の産学官の研究者を「専門調査員」に委嘱し、インターネットを利用して科学技術動向に関する幅広い情報を収集・分析する「科学技術専門家ネットワーク」を運営しています。このネットワークを通じ、専門調査員より国内外の学会合、学術雑誌などで発表される研究成果、注目すべき動向や今後の科学技術の方向性等に関する意見等を広く収集いたします。

これらの情報に、センターが独自に行う調査・研究の結果を加え、毎月1回、「科学技術動向」としてまとめ、総合科学技術会議、文部科学省を始めとした科学技術関係機関等に配布しています。なお、この資料は <http://www.nistep.go.jp> においても公開しています。

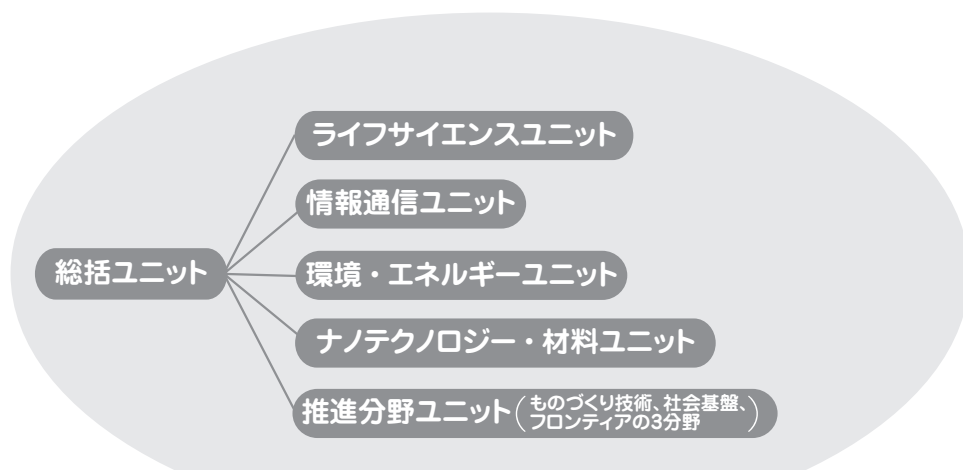
2 重要科学技術分野・領域の動向の調査研究

今後、国として取り組むべき重点事項、具体的な研究開発課題等を明確にすることを目的とし、重要な科学技術分野・領域に関するキーテクノロジー等を調査・分析します。

さらに、重要な科学技術分野・領域ごとの科学技術水準を欧米先進国と比較し、我が国の科学技術がどのような位置にあるのかについての調査・分析も行います。

3 技術予測に関する調査研究

当研究所では、科学技術の長期的将来動向を総合的に把握するため、デルファイ法を中心とする科学技術予測調査をほぼ5年ごとに実施しています。2005年には2年間にわたった「科学技術の中長期的発展に係る俯瞰的予測調査」を報告しました。



*それぞれのユニットには、職員その他、客員研究官（非常勤職員）を配置。

*センターの組織、担当分野などは適宜見直しを行う。

(2009年6月1日現在)