

格子 QCD から計算科学へ

宇川 彰

§1. はじまり

量子色力学を時空格子上に定式化するという Kenneth Wilson のプレプリント CLNS-262 には 1974 年 2 月の日付がある。その頃、海外の素粒子理論の最新の研究に触れるのは、通常船便で送られてくるプレプリントが最速の機会だったので、私がこれを見たのは春から初夏にかけてだったと思う。以来五十年近くが経った。Wilson の論文は、長距離での強い量子揺らぎによりゲージ場の相関は有限になること、そしてこれが閉じ込めの本質であることを Wilson loop の強結合展開を使って示した革新的な内容だった。一方で、その頃までの素粒子論の大前提であった時空連続体と Lorentz 不変性を離散な時空格子で置き換えるという発想はなかなか受け入れるのに難しいものだった。状況が一変したのは 1979 年から 1980 年にかけてである。Monte Carlo 法によるコンピュータ計算が試みられ、連続時空の極限でも閉じ込めが成り立っている強い示唆が得られた。1981 年にはハドロンの伝播関数の Monte Carlo 計算から陽子や中性子の質量が求められることが示された。今日の日から見れば不十分な計算だが、相対論的で且つ強結合の場の理論で陽子のような束縛状態の質量が計算できることは衝撃だった。それから四十年が経ち、最近では、ミューオンの異常磁気能率への強い相互作用補正の評価に必須の方法となるなど、格子 QCD は強い相互作用の精密科学の立場を確立している。

私の格子 QCD への関わりには、従来の素粒子の理論研究では遭遇しない様々な様相があったと思う。紙と鉛筆だけでは解くことができないのでスパコンという計算道具が必須となったこと、そのことからより速いスパコンの開発が研究を先んじる上で重要となったこと、必然的に研究は大掛かりとなり、大勢の研究者が計画的に共同する collaboration のような研究組織が必要となったこと、さらにはこれが拡大して研究所の設置や、国によるスパコン・プロジェクトとの関わりが生まれたことなどである。この一文では、こういった様相を中心に、私の格子 QCD との関わりを思い出してみることにしたい。

§2. モンテ・カルロ

日本では、Monte Carlo 法による場の理論の研究は 1981 年に筑波で始まったと思う。O(3)/Z(2) スピンモデルの相転移の存否を調べたプレプリント KEK-TH33 には、福来正孝、小林誠、大川正典、小柳義夫、宇川彰の名前がある。その後、金子敏明や太田滋生などが加わった。岩崎洋一も、同じ頃に吉江友照などと研究を始めている。

1980 年代の我が国の研究には二つの大きな出来事があった。一つは計算アルゴリズムであ

る。Monte Carlo 計算でクォークを扱うには格子上で離散化した Dirac 演算子の逆行列を計算する必要がある。これは、クォークの多体状態であるハドロンの計算に必要なだけでなく、クォークの真空偏極効果を取り入れた計算(所謂 full QCD)でも必須なのだが、標準的な共役傾斜法では収束が遅くて計算時間が膨大になり使い物にならなかった。素粒子理論から計算機科学に転じた小柳義夫は、行列前処理など当時の最新の加速法を持ち込んでこの問題の解決に大きな役割を果たした。Langevin 量子化を用いた full QCD 計算はこれなしには不可能だった。その後本格化する素粒子物理と計算機工学の学際研究の先鞭をつけたと言って良いだろう。

もう一つの出来事はスーパーコンピュータの導入である。1980 年代初頭は国産スパコンが登場した時期である。KEK でも首脳部の積極的な後押しがあり、日立の S810/10 (理論ピーク性能 315Mflops) が導入されて、1985 年 5 月に稼働が始まった。主要なユーザは格子 QCD 関係者が大部分であった。岩崎たちによる、繰り込み群によって改善されたグルオン作用を使ったハロン質量スペクトルの大規模クエンチ計算や、Langevin 法によりクォークの真空偏極効果を取り入れた計算などが行われた。これらは、世界的にも当時の最先端を行く計算だった。

格子 QCD の分野には International Symposium on Lattice Field Theory という国際会議シリーズがある。通称 Lattice XX と呼ばれ、XX には開催年号下二桁を入れる。1984 年に米国 Argonne National Lab で開催されたのを初回として、毎年世界各国の回り持ちで開催され、格子上の場の理論の世界の研究者を網羅する学会になっている。日本からは、1986 年米国 Brookhaven, 1987 年フランス Seillac での会議から毎年参加するようになり、KEK スパコンで叩き出した成果を報告して注目を浴びた。Lattice XX のプログラムでは、ハドロンの質量スペクトルや有限温度 QCD 相転移などの主要なテーマについて、過去一年間の進歩を批判的に総括する plenary talk が重きをなす。plenary speaker が日本から毎年のように選ばれるようになったのもこの頃からである。

この時期、個人的に記憶に残るのは、1989 年にイタリアのカプリ島で行われた Lattice'89 で行った有限温度相転移の plenary talk である。クォークを含まない純グルオン理論は center $Z(3)$ 対称性を有している。この対称性は温度の上昇と共にある温度で相転移を通じて自発的に破れ、高温側では閉じ込めが成り立たないことが既に解っていた。問題は相転移の次数である。ローマ大学の Georgio Parisi たちのグループは相関距離の格子サイズ依存性を調べて二次相転移と結論した。一方でコロンビア大学の Norman Christ たちはエネルギー密度などの物理量に跳びがあるかどうかを調べて一次相転移と結論した。筑波のグループでは、1989 年 1 月から稼働した KEK の第二世代スパコン S820/80 (理論ピーク性能 2Gflops) を使い、 $Z(3)$ order parameter の感受率と相関距離の有限サイズスケール解析を徹底して、一次相転移との結論を得た。私の役割は、欧米二大勢力と日本の結果を総合的・批判的に総括することだった。カプリ島の有名な青の洞窟への excursion にも行かずにオーバーヘッドプロジェクト用のスライドの準備に没頭するほど緊張したのが思い出される。

1980年代の活動を経て、日本の格子QCD研究は世界に知られるようになった。その一つの表れが、1991年にLattice'91がKEKで開催されたことである。準備は一年前から行ったが、Internetもwwwもなく、世界各国の研究者との連絡はBITNET、文書作成はNECのPC98という時代で苦労した。当時最新のDXだったが、今はどちらももうない。

Lattice'91に備えて1990年の夏には、格子QCD夏の学校を開催した。各地から十人位の大学院生が集まり、4日間の講義と実習を行った。石塚成人、蔵増嘉伸、橋本省二、西村淳は、その参加者である。Lattice'91では4人ともparallel sessionで発表をした。この時期に前後して、金谷和幸、大川正典、青木慎也など海外で格子QCD研究に携わっていた若手が帰国した。また、1990年代には、出淵卓、谷口裕介、金児隆志、江尻慎二、野秋淳一、石川健一、青木保道など格子QCDで学位を取る若手も出て、日本の格子QCDは豊富な人材を要するようになった。

このようにして、世界の第一線に躍り出て見ると、日本のスパコンリソースは恵まれた状況にあるとはいえ、世界を相手に闘い続けることは容易でないことがひしひしと感じられた。世界をリードするには、人智を結集し、スパコンリソースを集中的に投入して、計画的に研究を進めることが必要と思われた。こうして生まれたのがJLQCD Collaborationである。KEKの第3世代スパコンである富士通のVPP500/80(理論ピーク性能128Gflops)の設置に合わせて1994年に発足した。当時の主だった格子QCD研究者が参加して、QCD相転移やK中間子の弱い相互作用行列要素、重いクォークの物理などの重要課題に計画的に取り組み、Lattice会議で次々と成果を発表していった。

§3. 並列スパコン

格子QCD用の並列スパコン開発は格子QCDの歴史を彩る際立った出来事である。1970年代にはマイクロプロセッサが急速に発展した。近接相互作用の物理系に対しては、マイクロプロセッサを格子状に配列して相互に結合し、これに物理空間をマップすれば、超高速な並列計算が可能になる。これは物理と計算がマッチした実に魅力的なアイデアである。計算機工学の星野力は、1978年のPACS-9、続いて1980年のPAX-32でこのアイデアを実現した世界的なパイオニアだった。岩崎洋一は星野力と協力して並列計算機QCDPAXの開発に取り組み、1989年には完成して格子QCD有限温度相転移の計算などを進めた。

CP-PACSプロジェクト(1992年度~1996年度)は、QCDPAXプロジェクトの成功を受けて、文部省の「学術の新たな展開のためのプログラム」に採択され実施されたビッグプロジェクトである。岩崎洋一をリーダーとして、日本の計算機開発の第一人者の一人である計算機工学の中澤喜三郎がサブリーダーとして加わった。物理学と計算機工学から総勢20人近くの研究者が結集し、日立製作所と協力して5年間にわたって開発制作に取り組んだ。CP-PACSは1996年に完成して、10月のTop500スパコンリストの一位を占めた。その後9年間稼働を続け2005年9月にシャットダウンされている。

CP-PACSプロジェクトは幾つもの重要な意味を持っていたと思う。第一は、サイエンスへ

のインパクトである。QCD が素粒子の強い相互作用の基本法則であるからには、理論計算値は実験値と正確に一致しなければならない。大雑把に合っているだけでは基本法則とはいえないからである。格子 QCD の精密計算は、時空格子の格子間隔、格子全体のサイズ、クォーク質量からくる系統誤差、Monte Carlo 法特有の統計誤差を厳密に定量的にコントロールできなければ実現しない。系統誤差、統計誤差の背後にはその由って来る物理的な原因があり、それらを精密にコントロールすることは格子 QCD の物理メカニズムを理解することでもある。CP-PACS はその強力な計算力で、クエンチ近似のハドロンスペクトルを精密に導き出すことを可能とした。導かれた結果は、クエンチ近似と実験値には有意なずれがあることを示しており、以降、世界の格子 QCD 研究はクォークの真空偏極を取り入れた計算へと向かうことになる。

第二は、物理学と計算機工学の分野を跨いだ学際的な共同研究が実現したことである。融合研究の重要性は常に強調されるが、分野が違えば考え方も目標も異なり、その実現は容易でない。CP-PACS では、格子 QCD の計算という物理学の目標と高性能スパコンの実現という計算機工学の目標が背中合わせの目標として共有されてプロジェクトの牽引力となった。さらに、日立製作所が開発制作に加わり、産学連携の重要例ともなった。ユーザとメーカーが協力して次代のスパコンをデザインし開発するアプローチは、後に co-design としてスパコン開発のキーワードになったが、CP-PACS 計画はその先鞭をつけたのである。

第三は、筑波大学に計算物理学研究センターが設立され、これを母体として PACS-CS プロジェクトが推進されたことである。研究を進めるための組織として研究所を新設するというのは思い切った考えである。計算物理学研究センターは物理学と計算機工学の二つの分野の研究者を構成員とする学際的な研究センターである。サイエンスをどのような方策で進めるかという視点から重要な発展であったと思う。

§4. 拠点形成

CP-PACS 以降、格子 QCD 研究はクォークの真空偏極を取り入れた full QCD 計算へと向かって行った。クォークはフェルミオンなので直接数値計算はできず、ディラック演算子の逆行列を使ってボゾン化することになる。問題はディラック演算子がクォーク質量で規定される最小固有値を持つことである。逆行列を求めるための計算量は最小固有値に反比例して増大するから、クォーク質量が小さくなるにつれて計算は膨大になる。CP-PACS を使って行った up と down のクォークの真空偏極を取り入れた計算によれば、必要な計算量(計算に必要な時間と言ってもよい)は、クォーク質量の逆数の 3 乗に比例して急激に増大するとの経験則になった。これでは、物理点計算 (up と down のクォークの質量が自然界で持っている値での計算) は、CP-PACS を数千台並べても数年かかることになる。この困難は、2001 年に東西ドイツ統一後間もない首都 Berlin で行われた Lattice'01 のパネル・ディスカッションで報告され、full QCD simulation の実現を妨げる Berlin Wall と呼ばれるようになった。

Berlin wall を乗り越えるには、スパコンをさらに高性能にするか、計算アルゴリズムを効率化するかである。2001 年のパネル・ディスカッションに出席していた Martin Luescher は、パネルの場で既にアイデアを暖めていたようである。その後、クォークの真空偏極を長波長と短波長の成分に分解し、それぞれの寄与の大きさに逆比例してグルオン場を変化させるアルゴリズムを提案した(UV/IR separation)。この方法によれば計算量の増大はクォーク質量の逆数の 1 乗にまで抑えられる。壁は残っているが、物理点での計算が考えうるようになった。

スパコンの高性能化には紆余曲折があった。世界的にスパコンの性能向上は 1990 年代を通じて Moore の法則に沿って続いており、これに対抗するには、CP-PACS 完成の直後から、次期スパコンの計画を進める必要があった。2000 年前後には、100Tflops 級のスパコン開発計画をメーカーや理化学研究所と検討し、文部科学省への概算要求まで幾度も努力したが、どれもうまくいかなかった。

丁度同じ頃、国立大学を取り巻く状況は風雲急を告げていた。国立大学法人化の動きが現実のものとなり、計算物理学研究センターもその一つである共同利用研究所の在り方の見直しの議論が加速したのである。筑波大学でも法人化後の体制についての検討が開始され、検討項目の一つが計算物理学研究センターの改組・再編だった。2002 年の夏は、新センターのビジョンと組織をめぐって、大学執行部や関係学系との相談に明け暮れた。その結果、融合分野を計算物理・計算機工学から計算科学・計算機科学に拡大する、10 人規模のセンターから 30 人規模の研究所に拡充する、CP-PACS 後継スパコン計画を中心設備とする、の三つを基本方針とする改組・拡充計画がまとまった。この後一年以上をかけて文科省学術機関課と折衝を行い、2003 年 12 月の 2004 年度政府予算案で、計算科学研究センター設置が認められた。新センターは 2004 年 4 月に国立大学法人化と同時に発足したが、人事手続きなど全てが落ち着いたのは 9 月に入ってからだった。

センター設置の概算要求折衝が一段落した 2003 年初夏のある日、計算機工学の朴泰祐と佐藤三久が CP-PACS 後継スパコンの新しいアイデアを説明に来た。市販の汎用プロセッサとネットワークに基づいて構成されるハードウェア上に、標準的なコモディティ OS である Linux ベースのソフトウェアシステムを載せることにより、十分なシステムバンド幅を提供しつつ、全体的に安価かつ高性能な大規模科学技術計算用プラットフォームを構築できるというのである。その日一日の議論で超並列クラスタ計算機 PACS-CS 開発計画の基本アイデアは固まった。2004 年 1 月から学術機関課と概算要求折衝を行い、大学執行部の強い後押しも受け、9 月には総合科学技術会議のヒヤリングを経て 2005 年度の政府予算案に盛り込まれた。正式名称は国立大学運営費交付金特別教育研究経費（拠点形成）「計算科学による新たな知の発見・統合・創出」、2005 年度から 2007 年度の 3 ヶ年計画で総額 22.9 億円の事業になった。PACS-CS の開発製作は、計算科学研究センターと日立製作所（システム全体）、富士通（ネットワーク）の三者が連携を組んで行われた。計画 2 年目の 2005 年 6 月に稼働し、11 月の Top500 リストで 32 位だったが、国内では地球シミュレータに次ぐ 2 位

であった。

PACS-CS で実現したのが格子 QCD の物理点計算である。PACS-CS 計画は、Berlin Wall を軽減する Luescher アルゴリズムが発表された時期と重なっていた。マシンの開発と並行して、Luescher アルゴリズムに基づく格子 QCD のコードを準備し、計算性能評価を行った。これによって、取るべき格子サイズや格子間隔などの計算パラメータと必要な計算時間の見通しをつけることができた。このような経緯を経て、PACS-CS では u, d, s の質量を自然界での値に調節した計算を実現することができた。クォーク質量についての外挿(カイラル外挿)を不要とする物理シミュレーションであり、この方向への研究を先導する成果となった。PACS-CS での計算は 2007 年に発表され 2008 年に出版されたのだが、同じ 2008 年に Zoltan Fodor の率いる BMW Collaboration が、物理点計算を複数の格子間隔で行った上で連続時空への外挿を行ったより完璧な計算結果を *Science* に発表した。我々としては「してやられた」ことになり、誠に悔しい思いをした。ほろ苦い記憶である。

§5. 計算科学と国のスパコンプロジェクト

計算科学研究センターと PACS-CS で、私の関わりは素粒子物理から計算科学全般に拡大することになったが、それは同時に国のスパコン政策への関わりへの道でもあった。ベクトル並列スパコン地球シミュレータは 2002 年 3 月に完成して世界中、とりわけ米国に衝撃を与えた。実は日本のスパコンのシェアは、CP-PACS が Top500 の 1 位になった 1996 年をピークに急激な凋落傾向にあり、地球シミュレータに続く次世代スパコンの開発は国家的重要事項となりつつあったのである。

ポスト地球シミュレータに向けて国の調査が行われる動きを受けて、2004 年には、岩崎・宇川・佐藤・朴で検討した内容を「我が国におけるスーパーコンピュータの開発の必要性について」にまとめ、文部科学省研究振興局情報課に提言した。科学技術におけるスパコンの重要性から説き起こして、国による長期的戦略に基づく継続的なスパコンの開発・整備の必要性、中でもプロセッサ開発の必要性を論じ、ピラミッド型の重層的なスパコン配備を主張したものだ。併せて、超並列 MPP 方式のペタフロップス超級スパコンを提案している。

国の「次世代スパコンプロジェクト」(「京」プロジェクト)は 2006 年に始まった。その立ち上げシンポジウムでは、岩崎が基調講演を行った。私は、アプリ検討、アーキテクチャ調査(MPP 方式は残念ながら採択されなかった)、概念設計に参加し、また、2008 年からは完成後の「京」を用いた計算科学研究のための「戦略プログラム」の制度設計と研究実施機関の選定に携わった。

「京」プロジェクトの一番の記憶は 2009 年 11 月 13 日(金)の民主党政権によるスパコン事業仕分けである。午前中の極めて短時間の質疑の後で「来年度の予算計上の見送りに限りなく近い縮減」との判定結果となったときは大いに驚いた。週明けの 19 日(木)には計算基礎科学コンソーシアムとして反対の緊急声明を出し、25 日には野依良治らノーベル賞受賞者が反対声明を挙げ、文科省の調査に対して国民の多くが見送り反対を表明した。12 月

16日の4大臣合意により、次世代スパコンプロジェクトは計画の見直しを行った上で復活となった。

国の取りまとめた計画見直しの方針は、スパコン開発者（供給）側から利用者側に開発の視点を転換し、ナンバーワンの性能を引き続き目指しつつ、多様なユーザのニーズに応える「革新的ハイパフォーマンス・コンピューティング・インフラ(HPCI)」の構築を目指すというものである。2010年4月1日に開催されたHPCI検討WG第一回の冒頭で、中川正春文部科学副大臣から「コミュニティの総意を結集してHPCIのグランドデザインをまとめて頂きたい」との発言があったことが記憶に残る。その後2年間をかけて、HPCIとその構築を主導するHPCIコンソーシアムの構想がまとめられた。この間、スパコン「京」の開発は、2011年3月の東日本大震災の難局を乗り越えて進み、2011年6月と11月にはTop500の一位となった。2012年9月には「京」を中心として国内スパコン群を第二階層とするHPCIが運用を開始している。

HPCIコンソーシアムは一般社団法人として2013年4月2日に設立された。「京」の戦略プログラム実施機関などユーザコミュニティ代表機関と、国内スパコン運用機関などHPCIシステム構成機関の両者を構成メンバーとして、HPCIシステムの整備と運用、計算科学の振興、将来のスーパーコンピューティングの検討を任務として活動した。

「京」を利用した計算科学研究はHPCI戦略プログラムにより2011年から5年間にわたって行われた。分野5「物質と宇宙の起源と構造」は青木慎也が代表を務め、格子QCD、原子核構造、超新星爆発、大規模ダークマター・シミュレーションなど、物質と宇宙の物理研究が進んだ。私自身は戦略プログラムを運営する立場として実施者には加わらなかった。HPCI構想では「京」及び第二階層スパコンの一般利用の申請採択制度も定めた。2012年のHPCI運用開始以降、素粒子・宇宙分野でも毎年度いくつもの大型課題が一般利用で採択されて「京」による研究が進められた。

「京」に続くポスト「京」（「富岳」）の開発プロジェクトは2014年度に始まった。それに遡ること4年前の2010年8月、まだ「京」の開発が進行中の頃であるが、石川裕を中心とする計算機科学者たちは、次代のスパコンシステムはどうあるべきか、そのためにどのような研究開発をしていくべきかを検討すべきだと考えて、「戦略的高性能計算システム開発に関するワークショップ(SDHPC)」を開催した。私も参加したのだが、これがポスト「京」プロジェクトの始まりである。

翌年の2011年には、国もこの動きを受けてポスト「京」に向けての検討を始めた。矢継ぎ早に、「今後のHPC技術の研究開発の検討WG」（2011年4月～7月）、「コンピュータアーキテクチャ・コンパイラ・システムソフトウェア作業部会」と「アプリケーション作業部会」（2011年7月～2012年3月）が開催され、SDHPCワークショップでの検討を引き継いで、計算機科学の観点からのシステム検討と計算科学アプリの観点からサイエンスの検討が行われ、「今後のHPC技術開発に関する報告書」にまとめられた。2012年2月には、国のHPCI計画推進委員会の下に「今後のHPCI計画推進のあり方に関する検討WG」が置

かれ、計算機科学と計算科学の関係者が一同に会して、科学技術政策の視点からポスト「京」プロジェクトの本格的な検討が進んだ。また、2012年からは、「将来のHPCIシステムのあり方の調査研究」により、ポスト「京」の取るべきシステム構成が調査検討された。2013年夏には概算要求、秋には総合科学技術会議の評価が行われた。ポスト「京」プロジェクトは、このような経緯を経て2014年度から始まった。正式名称は「フラッグシップ2020プロジェクト」、開発主体は理化学研究所、完成目標は2019年度である。

この間、私は筑波大学にあって国の委員会などに出席していたが、2014年には筑波大学を辞して、神戸にある理化学研究所計算科学研究機構に移った。以後、理研を退職するまで4年間、謂わば内側からプロジェクトを見守ることになった。

ポスト「京」プロジェクトは、計算機科学の石川裕をリーダーとして、計算科学研究機構を中心に全国の計算機科学と計算科学の研究者が結集し、co-designをキーワードとして進められた。2014年夏には、ポスト「京」で追求すべき科学的・社会的課題が9つの重点課題(2015年度～2019年度)と4つの萌芽的課題(2016年度～2019年度)にまとめられた。格子QCDは第9課題「宇宙の法則と進化の解明」(代表青木慎也)で進められた。ポスト「京」の開発はいくつかの困難に遭遇したもののそれらを乗り越えて進んだ。名称も「富岳」と決まり、予定どおり2019年度に完成して2020年度から運用が開始された。「富岳」における計算科学研究は、重点課題・萌芽的課題の後継プログラムである成果創出加速プログラムと一般利用で進められている。格子QCDは「シミュレーションで探る基礎科学：素粒子の基本法則から元素合成まで」(2019年度～2022年度)及び「シミュレーションでせまる基礎科学：量子新時代へのアプローチ」(2023年度～2025年度)で、いずれも橋本省二が代表を務めている。

§6. 終想

いま私は、WPIプログラムのディレクタを務めている。WPI(World Premier International Research Center Initiative)プログラムは、2007年に始まった、「世界に開かれた、世界から見える」世界トップクラスのサイエンスの研究所を設立しようという文部科学省のフラッグシップ・プログラムである。現在までに17のWPI研究所が科学の様々な分野に跨って設立されている。素粒子・宇宙分野では、Kavli IPMU(東京大学カブリ数物連携宇宙研究機構)とKEK QUP(KEK量子場計測システム国際拠点)がある。

WPIプログラムディレクタの役割は、WPIプログラム委員会が行う新規拠点の採択審査のサポートを行うこと、そして、採択された拠点が10年間の補助金支援期間を通じて世界的な研究所に成長していくように指導助言することである。各拠点毎にプログラムオフィサーと国際メンバーからなるワーキンググループが設置され、毎年のサイトビジットとプログラム委員会が進捗が評価される。毎年の評価には拠点長とホスト機関の長が出席し、ワーキンググループのメンバーやプログラム委員会の委員との間で、サイエンスは勿論のこと、研究所としての成長をめぐるしばしば厳しい議論が交わされる。

WPI が 2007 年に始まってしばらく、私は全く関係がなかったのだが、2013 年の 4 月から黒木登志夫ディレクターの下でディレクター代理を務めることになった。始めてみると、毎年の拠点へのサイトビジット（当時は 9 拠点）やプログラム委員会はかなりのロードで、理研計算科学研究機構との二足の草鞋には少し苦労した。勿論、東大の Kavli IPMU は物理学と数学、阪大の IFReC は免疫と情報、九大の I2CNER はエネルギー、名大の ITbM は化学と植物学、筑波大の IIS は睡眠などなど、WPI 拠点の分野は千差万別で、しかもそれぞれでトップクラスの研究者たちの最先端の研究を聞くことが出来て実に興味深く、私の科学への眼は大きく開かれた。その折々にふと思うことがあった。CP-PACS プロジェクトの経験を経て、私は、研究とは、研究そのものだけではなく、そのための組織・装置・資金のトータルが研究であり、そのように考えて取り組まなければ世界をリードする研究はできないと考えるようになっていた。与えられた枠組みで研究するのではなく、研究をするための枠組みを作り出すことも、研究の大事な要素だと思えるようになったのである。CP-PACS 後継スパコンの開発計画や法人化前後の計算物理学研究センターの改組はそう考えて取り組んできたことだったし、「京」プロジェクトや「富岳」プロジェクトへの関わりも同じだった。WPI プログラムにずっと入っていくことが出来たのも、また長年関係を続けているのも、自らの研究のためか他の研究者達のためかの違いはあるにせよ、枠組みを自分で作って世界トップレベルの研究をするという意気込みに共感を覚えているからかもしれない。