

CP-PACS プロジェクト回顧録

岩崎 洋一

筑波大学物理学系／計算物理学研究センター（当時）

高エネルギー加速器研究機構（現在）

この小稿ではプロジェクトのエピソード的なことを主として記述するつもりである。プロジェクトの詳細は「正史」(研究成果報告書)を参照してほしい。

◎「天の時」, 「地の利」, 「人の和」

いま, CP-PACSプロジェクトを回顧すると, このプロジェクトほど, 「天の時」, 「地の利」, 「人の和」全てが揃ったプロジェクトは珍しいのではないかと思う。

・ 天の時:

スーパーコンピュータは大きな転換期を迎えていた。当時, スーパーコンピュータとはベクトル型のコンピュータを意味し, 計算科学の分野で著しい成果を挙げていたが, 半導体技術の制約などから, ベクトル型による一つのプロセッサのコンピュータの高速化は限界に近付いていた。一方で, プロセッサの小型化と安価化によって, 千台規模の並列計算機を現実的なものとして考えられる時代に入っていた。しかし, 並列計算機といっても方式は千差万別で, どのアーキテクチャを採用するかは自明なことではなく, まだ, 日米の主要メーカは製品化に踏み切れずにいた。

そのような状況下, 筑波大学では, 星野力と川合敏雄によって始められた並列計算機の開発の歴史があった。特に, その5代目にあたる並列計算機「QCDPAX」は素粒子物理学の研究のために, 1987年度から1989年度の科学研究費補助金(特別推進研究)(研究代表者:岩崎)を受け, アンリツ株式会社の協力を得て, 開発・製作され, その当時のいわゆるスパコン(スーパーコンピュータ)の3倍の最高計算速度を達成した。しかし, ソフトウェアの不備など, 一般ユーザには使いこなすのが困難であり, 改

善すべき課題がかなり残されていた。(QCDPAXプロジェクトでの経験に関しては付記に記した.)

さらに、ちょうど1990年度から、文部省による「新プロ」が開始された。このプログラムは、科研費(科学研究費補助金の略)(特別推進研究)などで成果を挙げ、さらなる飛躍が見込まれるプロジェクトに対して、文部省のあらゆる政策方式、すなわち、科研費、設備費、組織、特別研究員、外国人特別研究員など、を総動員して研究をサポートするという新しいシステムである。

まさに、「CP-PACSプロジェクトの時来たれり」、であった。

- 地の利:

筑波の地に人材が集結していた。筑波大学は、新しい構想のもと設置され、特に講座制を撤廃し、分野間の連携が取りやすいシステムを採用していた。また、新しい大学ということで、様々な有能な人材が揃い、先進的な分野で研究を推進する意気に燃えていた。

具体的には: 並列計算機のパイオニア 星野力、日本のスパコンの父 中澤喜三郎、日本のコンパイラのパイオニア 中田育男、KEK(当時高エネルギー物理学研究所)のスパコンを駆使し、素粒子分野で国際的な研究成果を挙げている宇川彰、そして「QCDPAX」のプロジェクトリーダーの岩崎。さらに、「QCDPAX」プロジェクトのメンバーである金谷和至、吉江友照、小柳義夫、白川友紀。中堅・若手として、素粒子物理の青木慎也、計算機工学の中村宏、朴泰祐、山下義行。途中から、宇宙物理の梅村雅之、中本泰史。これらの分野の異なるメンバーが一つのプロジェクトに何の制約もなく参加することができた。筑波の地では、大学のほか、KEKから素粒子物理の大川正典からもメンバーに加わった。

- 人の和:

素晴らしい人々の集団で、それぞれがお互いにリスペクトし合い、個々の能力を最大限発揮した。私は、単に、「旗振り」、「メッセンジャーボーイ」、「尻たたき」の役を果たしたに過ぎない。

一つだけ付け加えることにする。同じころ、欧米で、やはり素粒子物理学研究用の並列計算機が開発されていた。1年に一度、我々の分野の国際

会議が開催されている。そのような国際会議のとき、米国のコロンビア大学のプロジェクトリーダーであるノーマン・クリストとプロジェクトの進め方について話したことがある。私が、「なぜ、計算機工学の研究者と組んでやらないのか？」と聞いたときに、「最初は一緒に始めたのだけれど、両方の目指すゴールが異なるので、結局うまくいかなかった。」との回答を得た。

物理学者と計算機工学者の発想の違いなどは、「QCDPAX」プロジェクトでも痛感していたし、それなりに理学と工学の連携の「こつ」のようなものはもっていたつもりだが、この会話の後、特に気を付けたのは、理学のゴールと工学のゴールを両方持ち、それぞれの実現の時期はずれるが、二つのゴールを両方とも実現することをプロジェクトの目的にすることだった。

また、メーカ(日立製作所)の方々が、延べ数百時間に及ぶ打ち合わせに忍耐強く付き合ってくれ、我々とコミュニケーションを密にとり、我々の要求を実現して下さったことも大きい。

◎ CP-PACSプロジェクト構想の「立ち上げ」から「採択」まで

並列計算機QCDPAXは、様々な障害を乗り越え、プロジェクトの最終年度である1989年度に完成し、最終日1990年3月31日には、素粒子物理の計算を本格的に開始していた。関係者に対する感謝の意を表すためにも、記念式典開催を考えている間に、一部の新聞にスクープされてしまい、急遽4月6日に記念式典と新聞発表をすることにした。有馬朗人氏(当時東京大学総長)、菅原寛孝氏(当時高エネルギー物理学研究所所長)などお忙しい中、駆けつけて下さった。記念式典を午後に控え、午前中、プロジェクトのメンバー一同、研究室に集まり、やっとここまでたどり着いた達成感と安堵感にたっぷりと浸っていた時に、「新プロというものが今年度から発足した。次のプロジェクトはそれで考えたらどうか？」との一本の電話がかかった。3年間の苦勞、特に最後の1年の筆舌に尽くしがたい辛苦を乗り越え、やっと、本来の物理の研究にしばらく、じっくりと取り組もうと思っていたが、この電話で状況は一変した。すぐさま、団欒の場を対策会議に変更せざるを得なかった。結論は当然「次のプロジェクトは新プログラムとして筑波大学を中心にやる」となった。QCDPAXコンピュータ完成式典

その日に、次のプロジェクトが立ち上がったことに、何か運命的なものを感じる。

まずは、「新プロ」とはどのようなものなのかを知ることから始めなくてはならなかった。「新プロ」の趣旨は前述のとおりであることはすぐに理解できたが、通常の科研費などがボトムアップ方式であるのに対して、トップダウン方式であることが経験したことのない点であった。科研費（特別推進研究）などで成果を挙げ、さらなる発展が期待できるものを、学術審議会の委員会のメンバーが推薦し、審査するという方式であった。

我々のプロジェクトは要件を満たしていると自らは判断していたが、申請することはシステム上でできなかった。しかし、幸い積極的に推薦してくれる方がいて、最終的に推薦件数7件の中の1件となった。そこまで辿り着くのに、これだけ大型のプロジェクトになると、紆余曲折があったが、我々としては、関係者からの助言を得ながら、プロジェクトの内容をつめることに専念した。また、QCDPAXでも物理の結果が順調に出てきており、QCDPAXのことが科学誌やビジネス誌などでもとりあげられるようになっていった。

推薦されたプロジェクトに対して書類審査があり、7件が2件に絞られ、2件に対してヒアリングが実施され、そのうち1件が採択されることになったとの通知があった。我々のプロジェクトと、もう1件であるが、それは強敵であるとのことであった。ヒアリングには万全の準備をして臨んだ。厳しい質問にも適切に回答したつもりであった。1週間後位に、我々のプロジェクトが採択されたとの通知を受け、関係者一同大いに喜んだことは言うまでもない。（後日談があり、3ヶ月後位にもう1件も追加採択になったとの情報を得た。）

◎ センター新設

前述のように、新プロは、文部省のあらゆる政策方式、すなわち、科研費、設備費、組織、特別研究員、外国人特別研究員など、を総動員して研究をサポートするという新しいシステムである。

この「組織」という用語がぎりぎりまで私を悩ました。新プロのことが話題に上がるようになってからは、大学の執行部、すなわち研究担当副学長、

研究協力部長などに情報を上げ、相談するようにしていた。新プロの施策として「組織」があり、「組織」にはセンターを含むことも分かっていたので、是非「組織」を要求したいと持ちかけても、筑波大学には特有の「特別研究プロジェクト組織」(特プロ)があり、研究員のことは特プロで対応するから、新プロとして「組織」は必要ないという執行部の回答であった。いよいよ、新プロのヒアリング対象として選定されたあと、新プロを所管する文部省の学術課に我々の案を説明にいくと、「組織」はどうするのですかと必ず聞かれた。大学の執行部の考え、「特プロで対応」を伝えると、なにか腑に落ちない顔をされる。なにかミスマッチがあると直感的に思い、事務局長にまで面会に行ったが、同じ回答であった。

思案に暮れているとき、ある人のことを急に思いついた。筑波大学は前にも述べたように新しい大学であり、新設間もないころは、レストランも飲み屋もない中で、事務職員と教員は同じ公務員宿舎に家族と共に暮らし、他に娯楽もないので、仲間でテニスを共に興じた。その中の一人が当時、主計課課長補佐を担当していた。彼のところに行き、状況を話すと、「先生、それは重要な話です」と顔色を変え、そのまま文部省に飛んで行ってくれた。そして、その日のうちに、新プロを所管する学術課とともに、特プロを所管する大学課(別の局)の両方と面談してくれた。

その結果、学術課は「新プロでセンター新設の可能性がある」、大学課は「新プロと特プロの2本を並列に出すことは極めて困難である」と考えていることが判明した。その情報を基に、私としては、すぐに、新ブロー本に絞って、センターの設置を要求することを決断した。ヒアリングが設定されていたのが2月28日で、センター新設を要求する判断をしたのが、ぎりぎり1週間前の21日であった。

急遽、センター新設の件でアポイントをとり、文部省に赴いたのが25日。会議室に入ると、それまでは、1、2名で対応してくれていたのだが、その日は、学術課、研究機関課、研究協力室などの総勢10名くらいで、私を囲むような配列であったことにまず圧倒された。それから、生まれて初めての尋問のような厳しい質問が次から次へと出された。特に、その中でも、当時の研究機関課課長補佐は厳しいことで、省内でも有名であったとのこと。

その厳しさに少々とまどいながらも、1年近く練りに練った計画であったし、QCDPAXプロジェクトの実績もあったので、きちんと適切に対応できたのではないかと思っていた。

とくに、「もし、センターが新設されなかったら研究の方はどうしますか?」という質問に対しては、科学者らしく答えた。「3つの場合が考えられます。」1番目は、センター設置が認められた場合。2番目はセンター設置が認められなく、大学の「特プロ」が認められた場合。3番目として、どちらも認められなかった場合。それぞれの場合の、研究に対する影響を述べ、3番目のケースは、世界と戦っていくにはとても厳しいが、最善を尽くし、研究は続けていく。と答えた。これに対し、「先生のような回答は初めてだ。ふつう、センターができないと研究が続けられなくなる、とこたえる。気に入った。」と言ってくれた。厳しい質問は続いたが、後になって、厳しい質問は、局内、省内、大蔵省(当時)で承認を得るためのものだとやっと理解できた。さらに、だいぶ後になってから、その時の研究機関課補佐から、あの時の答えを聞いて、先生と心中できると思ったという言葉までもらった。

これで、新プロの申請の中に、センター新設の要求を書き込むことがやっとなできるようになった。間一髪という感じであった。センター新設の可能性は高まったが、これで要求が認められた訳ではない。予算要求が認められて、初めてセンターが設置できる。まだ、道半ばである。

◎ 予算要求

新プロの科研費は新設の科研費(創成的基礎研究費)から措置される。我々としては、当然、開発・製作するコンピュータは世界最高速のものを目指すつもりであった。通常、メーカーが新規に大型コンピュータを開発・製作するには数100億円が必要であるが、文部省の予算規模は1桁少ないということは分かっていた。そこで、我々は、並列計算機に関する我々のノウハウと人的貢献を最大限に大きく見積もってもらい、メーカーはその並列計算機をベースに商品化して将来赤字分を取り戻してもらおう、という虫のよい算段をするしかなかった。しかし、最低限の半導体などの材料費などをカバーする額は必要であろうと考えた。世界最高速を狙うには、600GFLO

PS程度のコンピュータを開発する必要があり、そのためには、どんなに低く見積もっても、25億円は必要であるとの結論を得て、その計画書を最初は提出した。しかし、文部省の予算の枠はどんなに頑張っても、10億円規模であるとのこと。そこで、文部省とだいたい交渉したが、どうしても総枠からして無理であるとのこと。結論として、格別の額として、15億円を5年間で措置するという事になった。文部省としてもぎりぎりの線だったと思う。そこで、当初目標として、性能が半分の300GFLOPSのコンピュータを開発・製作することとした。もちろん、世界最高速を諦めたわけではなかった。

センターの新設の可能性が高くなり、それに伴い、定員、建物、設備、運営経費などを要求できることになった。定員はその当時ですでに厳しく、4名の純増で、6名は学内振替となった。

新しい建物は、文教施設部から当時の情勢からいって到底無理であるから、学内で既存の場所の中から探しておくようにとの話であった。これはこたえた。適した部屋などあるはずもなく、共同研究棟のうす暗く、柱などの位置がコンピュータの設計を制限するだろうし、電源もない部屋を、中澤氏と一緒に見に行き、暗澹たる気持ちになったことを今でも覚えている。ところが、ふつうはあり得ない話らしいが、研究機関課が文教施設部に強く働きかけてくれ、計算機棟だけは、1992年度の補正予算で認められた。青空が広がったような気持ちであった。後に、研究棟も認められた。

設備も、空調、変電施設、落雷などによる停電時のための無停電装置など、裏方に相当する設備が極めて重要であること、また金額もばかにならないことなど、私としては初めて知ること多かったが、中澤氏のおかげで、建物の設計も含め、順調に見積もることができた。

運営経費としては電気代が大きな部分を占める。コンピュータ本体と空調分である。しかし、初めのうちコンピュータは存在しないので、電気代はきわめて少なくて済む。その後、年度ごとに少しずつ増えていき、コンピュータが完成した時にピークの額が必要になる。これを年次計画として、綿密に積み上げて積算した。具体的な計算は、かなりの時間をかけて、主計課が行った。

運営費も、設備費も、毎年正直に積み上げて予算要求をした。先輩にこ

の話をしたところ、ばかだな、年次計画など丸めて、予算要求は2割増しで要求し、2割減で査定されるものだよ、と言われた。しかし、我々のこの真摯な態度が分かってもらえたのだろうか、5年間に毎年かなりの額を要求したが、一度も減額されたことはなかった。全面的にサポートしてもらった気がしている。

予算要求を概算要求と呼ぶこともこの時学んだが、それと同時に、その作業がどれだけ大変かということ、大学の事務がどんなに頑張っているかを初めて知った。2月末にセンターの話が出て、6月末には大学から概算要求書として正式に文部省に提出する必要がある。その間、2週間ごとに、新しい資料を作成し持参し、文部省に行き、説明した。土日なく、宇川氏といかに分かり易い書類を作成するか腐心した。また、事務に聞かないとわからない点が出て本部棟にいくと、土日関係なく、主計課の人が必ずいて仕事をしているのを目のあたりにし、認識を新たにした。3月から6月にかけて、中澤氏、宇川氏らと一緒に文部省に出向いたが、研究機関課課長補佐を中心に、相変わらず厳しい質問を浴びせられた。これが、我々の要求を何とか通そうとする「愛の鞭」であることが分かったのは、前述のとおり、だいぶ後になってからだった。

文部省に概算要求書を提出した後、7月になってからも、次々とポンチ絵と説明文などの要求がきた。土日ほとんど休んでいなかったのも、夏休みを8月に入ってから月曜日1日だけとり、週末と合わせて3日の休みをとった。旅先まで、電話がかかってくるだけでなく、月曜日やつつくば市に戻って、大学に電話をすると、相談したいことがあるから、大学まできてほしい、とのこと。お盆前が文部省内部の山場であることをこの時知り、その後4年間は夏休みも取らなかった。

◎ 調達手続き

新プロが採択された頃は、いわゆる「日米スパコン摩擦」が政治問題化していた。そのような状況を考えて、我々は、協力してくれるメーカーを選定する調達手続きを透明化、公正化することに努め、当時のスパコン購入の手続きに準ずることにした。ただし、プロジェクトの開始時期を考え、期間を

少し短縮することにした。

この手続きに関して、関係官庁の意見を聞いておいた方がよいと判断して、通産省機械情報産業局電子機器課課長とアポイントをとり、中澤氏と一緒に面談した。30分の予約であったが、15分位話したところで、「分かりました。開発・製作するということですね。その手続きでまったく問題ありません。」と会談を終了した。問題がないということの確認がとれたので、ほっとして、道路を挟んだ文部省に向かった。やはりアポイントメントをとっておいた。行ってみると、学術課、学術機関課に会計課の人を加えて10人くらいの人が待っていてくれた。2時間くらい会談をしたと思うが、その日に我々の話したことを文書化して提出するという宿題をもらって帰ってきた。その後、何回か説明資料を提出し、2か月掛って問題ないとの回答を得た。この「日米スパコン摩擦」は通商問題であり、文部省の通常の所管ではないので、慎重な対応であったのであろう。

1991年4月2日に14社(内米国系3社)に対して開発協力可能性を打診し、その後、全体計画書提出、説明会、官報公示などを経て、一般競争入札で日立製作所と契約を締結したのが、1992年6月2日であった。

メーカーとのやり取りを含む関係資料はすべてファイルに綴じておき、それが地球シミュレータ・プロジェクト発足時に役に立ったことを付記しておきたい。

◎ プロセッサ数の倍増

当初、600GFLOPS程度の世界最高速のコンピュータを目指していたが、予算の関係で、300GFLOPSの目標に変更せざるを得なかったことは、前述のとおりである。しかし、完全に当初の目標を諦めたわけではなかった。文部省の新プロを統括する学術課にも、そのことは暗黙のうちに伝わっていた。プロジェクトが発足してだいぶ経ったころ、総額25億円は無理だが、ぎりぎり22億円までなら可能性が全くないわけではない、ということになった。有難い話である。並列計算機であるから、プロセッサ数を1000個(正式には1024)から、倍の2000個(2048)に増やせば、性能は倍増する。まだ製造段階に入っていなかったもので、この点は、全く問題なか

った。

しかし、メーカーにとっては、25億円でもぎりぎりの線なのに、簡単にのめる話ではない。また、コンピュータのプロセッサ数が倍増するということは、電源も、空調も、倍増に近くなる。センター設備費は研究機関課の所管である。

メーカー、学術課、研究機関課の3体問題になった。文部省の2つの課の対応は、メーカーが製作してくれることが当然の大前提である。また、2つの課は、それぞれ、「先生の話はよく分かりましたが、もう一方の課が認めてくれるなら。」という対応で、一向に前進しない状況が長く続いた。2つの課は壁一枚で隔たれているだけだったが、その壁は思いの外高かった。一方、メーカーの反応もはかばかしくない状況が続いた。メーカーの幹部にまで会談にいったが、「検討しましょう」という回答であった。これでは、文部省に強く働きかけることもできず、三方を同時に解決しなければならない状況が長く続いた。その年の概算要求の実質的な最終日、予算の取りまとめをする研究機関課は忙しくアポイントも取れなかったが、研究機関課課長補佐(異動で1991年とは異なる人)が、会議と会議の間、廊下を歩くところを捕まえて、最後の「交渉？」を行い、やっと認められた。また、メーカーの幹部との会談の3回目もほぼ同時に開かれ、メーカーとして極めて厳しい判断だったと思えるが、最終的に2048プロセッサのコンピュータを製作することに合意してくれた。この間約10ヶ月ほどかかった。その時の補佐と今でも会うと、「あの時は先生の熱意に負けました」と、その時の情景が話題になる。

◎ プロジェクト遂行とプロジェクトからの教訓

このようにして、CP-PACSプロジェクトは発足し、遂行された。そして、所期の目的を達成することができた。

CP-PACSプロジェクトからの教訓は、QCDPAXプロジェクトからの教訓を再確認し強化するものであるが、コンピュータを開発するときに極めて重要な点は、そのコンピュータを用いて何を解き明かしたいのかの大目標(グランドチャレンジ)をまず最初に設定し、それを目指して、概念設計、基

本設計, 詳細設計, 製作することである. コンピュータ本体のみならず, データの入出力, 周辺機器を含め, アプリケーションを念頭に置くことにより, 具体的な設計目標が定まる. それを目標に, 計算工学者とメーカは新機軸を考案し, 技術的な困難さを克服する強い動機を持つことができ, 結果として, ユーザにとって使い勝手がよく, 高性能なコンピュータが完成する. この際, 物理学科学者と計算機工学研究者とメーカの共同研究, 協力が必要不可欠である. そのためには, 異分野の研究者が日常的に直に顔を合わせながら, 気軽に議論できる「場」が必要である. 我々の場合, 計算物理学研究センターがその「場」であった.

「専用並列計算機」を開発・製作するということは, 結果として, 「汎用並列計算機」を開発することに繋がり, 最初から「汎用」を目指す構想は纏まりにくい. これは, 逆説的に聞こえ, 考えにくいかもしれないが, ベクトル型のコンピュータから並列計算機への転換のように, パラダイムシフトが起こる時には, この点が重要な点である. 目標を明確にするという思想は, 星野・川合が原子炉内燃焼をシミュレーションしようとしてPAXシリーズを始めた時まで遡ることができる. さらに, QCDPAXは素粒子物理学でのシミュレーションを目指して開発された. そしてどれもが, コンピュータとしては汎用性をもつものができた. 自然現象が基本的に近接作用であることによる.

CP-PACSプロジェクトも, 当初は素粒子物理学の格子量子色力学の計算を大目標の一つに掲げた. 素粒子物理学研究者の宇川, 金谷, 吉江, 青木が, その計算の核に当たるルーチン, 我々が「MULT」と呼んだ部分を, 抜き出した. 「MULT」をいかに速く実効できるかが, コンピュータの実効速度を実質的に定める. キャッシュによるプロセッサでは10%程度しか性能が出ないことが判明した日が「暑気払い」に当たっており, ビールを飲めば飲むほど苦く, 暑くなる経験を初めてした. しかし, 夏休みが終わると, 計算機工学のハード担当の中村, 中澤が見事な解決策を見出していた. ソフト担当の中田, 山下がさらに工夫を重ね, 最終的に疑似ベクトルスライドウィンドウという新機軸に結実した. この点に関しては, それぞれ担当者から具体的な話があることと思う. それに基づき, 素粒子物理学者が「MU

LT」を最適化したアセンブラコードで書き下し、60%以上の効率を実現することができた。これが、掲げた目標に向けての物理学者と計算機工学者の共同研究の典型的な例である。ターゲットを明確にしていたからこそ、この新機軸も生まれたのだと思っている。プロセッサとメモリ間のスループット、ノード間のネットワークのスループットに対する要求性能もこの「MULT」から導かれた。計算結果のデータの入出力は宇宙物理からの要求を基に、並列IOと大容量の外部記憶装置を装備することになった。もちろん、メーカはこれをベースに商品化を考えていたから、他のアプリケーションでのクロスチェックは当然行っていたと思うし、実際に後に商品化された。これが、私の言う、「専用」が「汎用」に繋がるの意である。

並列計算機の黎明期であったからこそ、並列計算機のアーキテクチャは多様であり、選択の余地が余りに多く、最初から「汎用」を考えると、具体的にアーキテクチャを絞り込むのが困難であった。「汎用性」を目指したプロジェクトで、「実用的」な並列計算機を開発したプロジェクトは当時見当たらなかった。

大目標を最初に掲げるという開発方針の結果として、計算機工学者のゴールと物理学研究者のゴール、2つのゴールをともに実現することができた。1つは「世界一高速で、幅広い分野のユーザに使い勝手のよいコンピュータを開発・製作する」というゴールである。もう一つは、「そのコンピュータを用いて、物理の分野で世界最先端の成果をあげる」というゴールである。CP-PACSが稼働し続けた2005年まで、素粒子物理・宇宙物理・物性物理で、世界最先端の研究成果を創出し続けた。とくに、素粒子物理学の分野では、クォークの理論である格子量子色力学によるハドロンと総称される質量の計算で、1983年以來の懸案であったクエンチ近似での結果に対して最終的な決着をつけ、さらに近似のない計算でも世界をリードする結果を導いた。

プロジェクトを遂行していく間の様々な光景が思い出され、また創出された物理の結果に関して強い思いもあるが、他のメンバーの回顧録に委ねたい。