

付記:QCDPAXプロジェクトでの体験

この付記では、なぜ、理論素粒子物理学者にすぎなかった筆者が、並列計算機を開発するプロジェクトに関与することになったのか、そのいきさつから、その顛末を記すつもりである。

筆者が並列計算機に関係することになったきっかけは、1985年に、小柳氏から星野氏を紹介され、科研費(特別推進研究)に申請するので、研究分担者にならないかという話があった時だ。その判断をする前に、並列計算機に一度触れておく必要があると思い、PAXシリーズの4代目にあたるPAX-32Jを見学に行った。

PAXシリーズは、原子力工学を専門にしていた星野氏に、原子炉内燃焼のシミュレータとして、川合氏が、マイクロ・プロセッサのアレイを提案したことがきっかけで開始され、4代目までのPAXは星野氏が中心となって開発された。すべてのPAXのアーキテクチャは2次元トラスであった。だいぶ後に、川合氏の「自然現象は近接相互作用で並列に進行している。これを計算機システムに直接写像するのが、自然の摂理にかなっている」という、伝道師のような説得力ある話を聞いたときに、妙に納得してしまった記憶がある。後述のように、原子炉燃焼シミュレーション用に開発されたアーキテクチャが、素粒子物理学の4次元格子量子色力学の計算にそのまま通用したように、幅広い分野に応用可能なアーキテクチャである。実用機として完成したことを含め、星野・川合の先駆性は外国でも高い評価を受けていた。

その当時、私には、並列計算のプログラムはいったいどうやって書くのか？ どのくらい大変なのか？ と見当もつかなかった。PAX-32Jの見学後、早速、教わりながら、ポアソン方程式のプログラムを書いた。思ったよりずっと簡単であった。それで、分担者になることを決断した。

特別推進研究のヒアリングには、研究代表者の星野氏、研究分担者の小柳義夫氏、私の3人で赴いた。ヒアリングの席上、星野氏と審査員との間で感情的とも思える激論になってしまい、それだけでヒアリングは終了した。

結果を待たずに、採択されないことは3人ともよく分かった。筑波への帰路、星野氏が、「物理の岩崎さんが代表を引き受けられないなら、これ以上はあきらめる。」と言い出した。私は、「少々待ってください。一週間下さい。」と戸惑いながら答えた。

悩んだ。自分としては物理をやりたい。でも、せっかく、星野・川合がここまで育ててきた財産を無にはしたくなかった。さらに、欧米で素粒子物理専用の並列計算機を開発しようという機運が高まっていた。迷いに迷い、引き受けた。45歳の時だった。

当時、国際会議などで欧米の研究者と議論していて感じていたことは、欧米の科学者にとって研究するのに必要なことはどんなに泥臭いことでも自分でやる、という精神風土である。ガリレイが望遠鏡を自作し、近代科学の扉を開き、その後も、その伝統が生きているということなのか。世界で最先端の新発見をするには、その背後に、地道に実験装置を開発する努力が重ねられている。たとえば、ノーベル物理学賞の約3分の1は、新しい装置を開発し、新発見をしたことに対して与えられている。一方、日本では、最初輸入文化であったことに起因しているのか、できればスマートに研究成果を出したい、泥臭いことは避けたいという風土があるような気がする。これは科学一般にみられる傾向であるが、計算科学者の場合も、出来ればプログラムを最初から書き込むのは避けたい、アセンブラ・コードなどで書くのはまっぴらだ。ましてや、コンピュータを自作するなど考えもしない、というのが一般的な風潮ではないかと思う。素粒子物理学の場合、実験では自前の加速器を設計・製作しないと研究自体が始まらない。素粒子物理学の理論研究者もそのような環境に囲まれているので、自然と影響も受けていたのだろう。物理の格子量子色力学の研究には、既存のスパコンでは計算能力が充分とはいえない。では、苦勞してでも、コンピュータを自作する価値はあるのではないか、という考えが自分の背中を押してくれた気もする。コンピュータは計算科学のための加速器に相当すると考えた。

そのような思考過程を経て、「特別推進研究」を研究代表者として

申請することにした。「特別推進研究」の趣旨は比較的少人数で研究目的を明確にして計画・実行することだとわかり、研究題目は自分が解明したいと思っているテーマを出来るだけ具体的に「格子ゲージ理論によるハドロン の質量の計算及びクォーク・グルーオンの相構造の解明」とした。1986年の秋の1カ月を費やし申請書類を精魂傾けて書いた。今回は、ヒアリングも無事切り抜け、1987年度からの3カ年計画として無事採択された。

星野氏らと協力メーカ探しが始まった。富士通、日立、NECからは体よく断られた。しかし、アンリツ株式会社が協力してくれることになった。アンリツは最後まで責任を持って対応してくれた。その他、プロセッサ関係で、LSIロジック社なども協力してくれた。

このプロジェクトは、工学と理学の共同研究である。週一回のミーティングを中心に進められた。まだパソコンもインターネットもない時代であった。理学系棟と工学系棟とが、同じキャンパス上で300メートルしか離れていないことは有り難かったが、それでも不便であった。そんな時、池田克夫氏が自分の研究のパイロット実験として、2つの建物の間を結ぶLANを構築してくれた。ワークステーションを研究室に導入し、これには随分と助けられた。メールのやり取りで、仕事ははかどった。共同研究では、研究体制、「場」の構築が大切である。

ミーティングでは、まず、工学と理学との間で言葉、発想、手法が異なることに戸惑い、コミュニケーションをとることから始めなくてはならなかった。C MOS, ECLなどの言葉が飛び交い、その分野の事典をあわてて買いに走ったりした。

計算機のアーキテクチャは、PAXシリーズと同じ2次元トラスとした。4次元を2次元に投影することは何も問題ではなかった。計算機の愛称は、PAXシリーズの5代目であることと、格子量子色力学を意味するQCDを組み合わせて、QCDPAXとした。

ハードウェアは、星野氏の指揮の下、主に白川友紀氏がアンリツの技術者と打ち合わせしながら進めた。個々のノードの計算速度を最大限速めることにした。CPUは市販のマイクロプロセッサを、演算用FPUにはLSIロジック社のDSPを用い、FPUのコントローラFPUCをゲートアレイで製作し

た。ゲートアレイの設計は、小柳氏と白川氏が協力し、ベクトル計算の高速化を実現した。

プロジェクトを開始するにあたり、星野氏からは、物理学者は並列プログラムを書いて、計算機が完成するまで待ってればよい、とのことだったので、ミーティングでも、初めのうちは、報告を聞いていることが多かった。しかし、しばらくすると、状況はそう単純でないことが分かってきた。コンパイラーは修士一年生が受け持つことになったが、経験はゼロであった。進捗状況を聞いていると、とても2年間で完成するとは思えなかった。(アンリツも途中でそのことに気づき独自に開発を始めたが、我々のプロジェクトには間に合わなかった。)物理は、私と吉江友照さんと大学院生でやるつもりであったが、とんでもない事態になりそうな予感がして、人事担当副学長に状況を話したところ、即決で一人助手を採用できることになった。大型プロジェクトに大学として教員を補強する最初の例となった。筑波大学の柔軟な人事システムのおかげだった。早速、ヨーロッパで頑張っていた金谷和至さんに来てもらった。

2年ほど経過して、QCDPAXのハードウェアの半分は完成した。しかし、それからが地獄であった。最初は、簡単なプログラムでもエラーがでた。コンパイラーのバグであった。だいたいバグをとったが、とても通常のプログラムを通すことは無理であった。そこで、苦肉の策として、行列乗算のような基本演算は全てアセンブラコードで書き、関数呼び出しをすることにした。この作業は、岩崎、吉江、金谷でやった。それからがさらに厳しい山が控えていた。やっと本格的なプログラムを流せるかに思えたのだが、必ずどこかでこけた。これが、コンパイラーのバグなのか、ハードのバグなのかを見分けることから始めなければならなかった。コンパイラーの方は、関数呼び出しという方法を採用したこともあり、だんだんと、ハードのバグが姿を現した。

そのころ、新聞で九州の大学の教授が特別推進研究で、経費を設備購入にほとんど使ってしまい、研究を推進できなくなり、自殺したという記事が載っていた。他人事とは思えなかった。

それから、金谷、吉江が、睡眠時間を削り、約10カ月かけてハードのバ

グの原因を抜き出す作業をした。バグを必ず起こす1000行程度あるプログラムを縮めて、バグを起こす10行程度のプログラムまでもっていく。この作業に、約1ヵ月かかった。それで初めて、オシログラフなどを用いて、ハードのバグをえぐりだすのである。基本的には、3つの条件が重なると起こる現象が多かった。大体が、タイミングのずれとクロストークの組み合わせだった。コンピュータのデジタル計算がアナログ信号によっていること、しかもタイミングがかなり際どいことも、身にしみて実感した。この作業で10パターン位のバグを見つけ出した。これに約10ヵ月かかった。クロストークにはパッチをあて、タイミングのずれの解決のため、クロック周波数を少し下げた。その間アンリツは献身的な対応をしてくれた。

この後は安定して稼働し続けた。最終的に完成したQCDPAXは、当時のスパコンの最高速度の約三倍を達成し、経費は約10分の一であった。このQCDPAXを用いて、「宇宙の初期の相転移」に相当する「ゲルオンの相転移」の計算で、従来の結果をはるかに凌駕する世界最先端の見事な結果を導くことができた。コンピュータがまともに稼働するようになるか不安いっぱいの時のことを考えると夢のようだった。

一方で、将来の発展性を考えると、2次元トーラスの改良すべき点も明らかになった。自然を計算機に直接写像する点は何も問題がないが、自然界の格子点の数と計算機のノードの数の対応関係が厳しすぎる点である。たとえば、一方向のノードの数が8とすると、自然界の格子点も、8の倍数でないとプログラミングが極めて複雑になる点である。また、計算機を分割運用するのも困難なことも挙げられる。

物理の目標を掲げてコンピュータを作ることの重要性、理学と工学の連携の重要性、さらなる柔軟性をもったノード間ネットワークの必要性、ハードとソフト両方のデバッグ機能の整備の重要性などの教訓は、CP-PACSプロジェクトに受け継がれ、活かされた。