

## CP-PACS に教わったこと

中村 宏

筑波大学電子・情報工学系(当時)

東京大学大学院情報理工学系研究科(現在)

CP-PACS は計算機の名前でもありプロジェクトの名前でもあったが、私にとっては、いろいろなことを教えてくれた存在でもあった。私はノードプロセッサのアーキテクチャを担当し、擬似ベクトルプロセッサというアーキテクチャを提案し、皆さんに認めてもらって VLSI として実装することができた。幸い、完成した CP-PACS が世界最高性能を達成したことで、プロジェクトの皆さんの期待にこたえることができたわけだが、私は2つの大きなことを教わったと思う。

第一は、アーキテクチャの考え方である。実は擬似ベクトルプロセッサは私が生まれて初めて真剣に考えたアーキテクチャである。と言うと驚く方もおられるだろうが、これは本当の話である。それでも結果的に良いアーキテクチャを提案することができた理由の1つは、制約条件が明確であったからである。制約条件のひとつは吉江先生のグループにより開発された Fortran コード、サブルーチン MULT をとにかく高速に実行することであり、もうひとつの制約条件は従来のアーキテクチャと互換性を維持することである。私は CP-PACS を通して、アーキテクトの仕事は、制約条件下でできるだけ良い解、具体的にはより低コストで高性能を実現できる落としどころを見つけることである、というのを体で感じることができた。擬似ベクトルプロセッサでは、例えばリストベクトル処理用の高速化機構も考えたが、なくても制約条件を満たすし、あるとコストが増える、という理由で見送ったし、インターリーブメモリのバンク数をどこまで減らせるか、ということもかなり検討した。多くの場合、アーキテクトは新しい機構を入れその新機軸の有効性を主張したが、それもアーキテクトとしての重要な役割であろう。しかしもっと大事なものは、いかに不要なものを削り落とすか、その決断と裏づけとなる根拠を整理することである、ということ学んだ。駆け出しの研究者として、

最初に考えたアーキテクチャでそこまで教えてもらえるのは非常にラッキーなことであり、その意味でもこの計算機、そしてプロジェクトに感謝している。

第二は、参加メンバーが熱意を持って目的を共有することが、プロジェクトの成功には重要だ、ということである。擬似ベクトルプロセッサというアーキテクチャも、参加メンバーの熱意が実を結んだものであった。もう19年ほど前の話しになるが、私の記憶を整理したい。CP-PACS の初期検討では従来と同じキャッシュメモリを利用するアーキテクチャが考えられていたが、容量や連想度を現実的には無理と思われる程増やしても MULT ルーチンの性能は理論性能の 20%弱しか出なく、ずっと簡単な Livermore Fortran Kernel でも同じようなものであった。当時修士1年の学生だった位守君に詳細な評価をしてもらっていたが、彼曰く「問題はキャッシュです。大規模データではキャッシュヒット率が低く、キャッシュの構成をどう変更しても駄目です」。大学院の学生としてはこの回答で与えられた課題に対しては十分なのだが、その後続けてこう言った。「メモリから直接レジスタに先行ロードするしかありません。しかし、主記憶のレーテンシが大きいのでレジスタ数を増やす必要があります。それはできないのですか？」彼の立場でのプロジェクト成功への情熱があつてこそその意見である。互換性という制約条件は外せないからそれは無理だ、私は思っていた。しかし、「やっぱり駄目だね」というのは簡単だったが、私もすぐにはあきらめられず、問題点の整理と解決の糸口を見つけるべく話し合ったのだが、彼の分析と提案が良く整理されていたので、彼の主張と、SPARC アーキテクチャにおいて当時全く別の目的のために採用されていたレジスタウィンドウ構成が、互換性を維持しつつ多くのレジスタを利用しているという点で私の中でリンクされ、レジスタウィンドウ構成をレーテンシ隠蔽という別の目的のために使えるかもしれない、と感じた。早速その足で計算機側のリーダーである中澤先生にアイデアを持っていった。中澤先生は私とは違って多くのアーキテクチャを基本設計から最終実装まで手がけてこられた方なので、その基本アイデアの筋の良し悪しはすぐに見当がつくと思っていた。駄目出しされるかなと思いつつ、しかしそのアイデアに酔いながら、興奮しながら

ら話した記憶がある。中澤先生は慎重だったが、良いかもしれない、という表情もされていた。私は良い気持ちでその日は帰宅したように思う。そうしたら、次の日に先生に呼び出され、細かい手書きのメモを見せられた。驚いたことに、それは、提案するレジスタウィンドウ構成において Livermore Fortran Kernel を実行するときのレジスタ割り当てと命令スケジューリングであった。先生と私の間の、このプロジェクトに賭ける熱意の違いを感じた一瞬であった。そのメモは良好な結果を示しており、先生は物理学の研究グループに早速そのメモを回された。数日後のプロジェクトの全体会議で私は再び驚いた。物理の金谷先生が、表計算ソフトを駆使して綺麗な図を書いていた。見たらレジスタウィンドウ構成における MULT ルーチンのレジスタ割り当てと命令スケジューリングである。聞けば、メモを見ながら自分で適宜解釈・想像しながらやってみた、とのこと。それがまた完璧な最適化がなされていたのである。1サイクルでも実行時間を短くしたいという気持ちのこもった最適化であった。参加者の皆が、これはいける、と思ってその日の全体会議を終えることができたように思う。こういった熱意を持った人たちのおかげで、このアイデアは単なる思いつきから立派な提案になったのである。後にコンパイラの中田先生により改良され、スライドウィンドウ方式による擬似ベクトルプロセッサとなり、さらに製作・実装側の日立製作所の皆様の熱意も加わって、VLSI として実現されるに至ったわけである。ちなみに、先の位守君は、修士課程修了後に日立製作所へ就職し、熱意をそのままに擬似ベクトルプロセッサの実装までやり遂げた。

このように、極めて幸いなことに私は若くして貴重な体験を得ることができた。計算機としての CP-PACS はすでに現役を引退したわけだが、私の中では、CP-PACS は思い出としての記憶ではなく、教えてもらったことが脈々と今でも生き続けるものとして存在している。プロジェクトで一緒にさせていただいた皆様、そして CP-PACS に受けた恩を返すべく、これからの計算科学の発展に少しでも寄与しなければ、と実は今、多少焦っている。