

三好甫先生没後 10 年記念計算科学シンポジウムに寄す

2011年9月10日

高村守幸

航技研 NWT/富士通商用機 VPP と、地球シミュレータの共通性に関し若干記そう。

NWT/VPP は、地球シミュレータ(ES)開発のベースマシンとなったということ。三好先生が意図してそうしたという方が適切かもしれない。

- － 計算要素または計算ノードを単段クロスバーで結合
- － 分散メモリ

という概念は NWT/ES 共通の骨格である。SMPの計算ノードを一つの計算要素とユーザに見えるようにする(ユーザ・トランスペアレント)ことにより、階層を少なくしてプログラミング負担を軽減するという考えであった。また、VPP の欧州気象センターコードの実測性能や著名並列ベンチマークの実測性能をベースに、ES 相当機の性能を予想した。けだし NWT/VPP と ES は親子のマシンだと言えよう。

本シンポジウムでとり上げられている CP-PACS の計算要素の結合方式は 3 次元クロスバーであり、結合に関して NWT/CP-PACS/ES は概念を共有する事は興味深い。

その2。NWT も ES も主記憶用にパイプライン・メモリを開発。プロセッサとメモリのアンバランスはいつの世も課題であり、NWT では、19 ナノ秒(2 マシンサイクル)ビジーの 1M ビット SRAM を開発。ES においては、24 ナノ秒(12 マシンサイクル)ビジーの 128M ビット DRAM を開発。後者のメモリはフルパイプラインメモリ FPLRAM と呼ばれる。新開発のパイプラインメモリにより NWT, ES はそれぞれ 8 バイト/フロップ、4 バイト/フロップのバンド幅を実現した。メモリ設計にも共通の設計思想が流れている。

NWT の開発経緯は、三好先生七回忌記念集「第4章 数値風洞(NWT)開発物語」に詳しい。従来版の誤記を訂正したのでこの機会に以下に掲載する次第である。

数値風洞(NWT)開発物語

三好先生に初めて会ったのは、もう20年も前のことになります。1987年11月、航技研 NS 棟2階の会議室で。年齢を答えた以外は私が喋る事は何もしませんでした。先生が留まることなく喋り続けました。次の高速計算機をやりたいと言ったはずですが。内容はすっかり忘れえました。しかし、引き込まれるような話術だったことは忘れられません。

三好先生と検討を重ね、というより、会合を重ねるうちに、現状のベクトル計算機の200倍の性能が目標となりました。しかし、1年経っても富士通の開発は一向に立ち上がりませんでした。スパコン路線論争が起こったからです。VP400、次はVP2600と来て、その次はVP2600-SCMP(マルチプロセッサ)という、評判をとった既存製品を継続する既定方針と、200倍計算機との路線論争でした。「脇から変なものを突っ込むなんて。」が、社内の大勢でした。

「200倍は、共用主記憶では実現不可能、分散主記憶が必要。」とのハードウェア技術者の主張は、ソフトウェア部門および SE 部門から大反発を食らうことになりました。曰く、隣の PE (Processing Element) の主記憶が見えない、曰く、コンパイラは PE 間データ通信の面倒はみられない。曰く、ユーザは200台プロセッサ用プログラムをどう書けというのか！などなど。反論は皆もつともでした。

周りの反発だけではありませんでした。CRAY C90 級(当時、世界最高性能)のベクトルプロセッサを200台も結合する結合網とは一体どういうものがあるのか、できるのか、使えるのか、自らの模索も続けました。三好先生が示した NAL-TEST-CODE を例題として、問題規模や分割軸のとり方を種々変え、計算時間と通信時間のレシオを予測しました。こうした中で、「トポロジーはクロスバー、バンド幅は主記憶比オーダ10分の1、200台すべてが等距離・対等・衝突なしに通信可能な結合網の実現しか生きる道はない、これだ！」と、確信を持つに至りました。三好先生は、計算機には革命派でしたが、計算法は保守派でした。

同時に、当時米国ではやっていた MPP (Massively Parallel Processor) で採用されているハイパーキューブ網やバタフライ網は何と如何様かと驚いたものでした。物理現象は隣接作用だから並列計算機 PE も隣接結合でいいのだ、と言った著名教授の蒙昧に仰天したのもこの頃です。このように並列計算機は百花繚乱でした。

「主記憶分散 & クロスバー結合のベクトル200台並列計算機」のコンセプトは、計算機を使う側と作る側の濃密なやり取りの中で固められていった共有の宝物です。

三好先生は、1989年夏にメーカーごとに「概念検討およびフィージビリティスタディ」検討会を開始して、検討の加速を図りつつ、メーカーの気合を観測しました。主要メーカーの社長・幹部の説得のため、秦野、府中、そして武蔵中原、時には三田、丸の内へと、東奔西走しました。期待と落胆の織り成す中、幾度となく丁寧に、そしてフォローアップも。

この頃には、社内の検討体制は7, 8人揃うようになりましたが、正規軍はVP2600の開発をやっていました。その脇で、200倍計算機のハードウェア方式・構成、実装・冷却、言語、運用・OSの基本検討が回り出しました。

半導体論理素子は折悪しく混乱状態にありました。ECL から CMOS への世代交代論が業界に喧しく、さらに富士通半導体部門においては、GaAs(ガリウム砒素)論理半導体の計画も持ち上がっていました。100MHzのクロック周波数で動作させるには、スピード・パワー積から BICMOS は捨て難いものがありました。クロスバーは BICMOS LSI を採用すれば必要なゲート数、および、入出力ピン数が満足でき、かつ 100MHz でパケットが飛び、性能も目標をクリアできそうでした。PE のスカラーやベクトルの高速動作には、論理は GaAs, 内蔵メモリーは ECL または BICMOS, 駆動能力が要る箇所は ECL。。。の如くめちゃくちゃになりました。これに伴う電源電圧種類の増加や LSI パッケージ品種の増加、その結果生じる開発の量とリスクの増大に、PE を何が何でもボード 1 枚に押し込むためには、耐え忍ばなければなりませんでした。

論理 LSI に対して、主記憶用メモリー LSI は、素晴らしい素子が出来ました。それは 100MHz x 2 サイクルビジーのパイプラインメモリー、1メガビット SRAM 素子でした。

三好先生は半導体を大変心配し、特に GaAs という異様な半導体の採用には否定的でした。プロジェクトの命取りになるかも知れないと危険を感じたのでしょう。自ら GaAs 半導体開発者と話したり、顔色を見たり、GaAs 工場を視察したりと、石橋を叩き、最後は不承不承橋を渡りました。

CPU に LIW(長命令語)をやりたいと言った時は、にこにこして「そりゃいいじゃないか、大いに新しいことを実験すれば！」と激励してくれました。「こういう新しいのは結構だけど、GaAs はどうもね～」と、切り返されました。振り返ってみると、褒められたのはクロスバーと SRAM でしょうか。

詳細設計を進めていくと、予期した難題が立ちはだかりました。最大の難題は並列言語とコンパイラの方針でした。MPP において採用しているメッセージ・パッシングを共に徹底的に批判しました。通信を計算 CPU が兼務する MPP の作りでは、計算と通信がオーバーラップできない事、および、一般にプログラミング・スタイルを変えることには怠惰であるところのユーザに対して、何百～何千の CPU のつながりと動作を

勉強した上で、アセンブラのように事細かく自分で通信ライブラリーを書け、とはいえないとの判断からでした。

我々が200倍計算機では、通信専用のプロセッサを計算プロセッサと別に配置し、連続、ストライド、2次元サブアレー、間接アドレスのリード、ライトを実行させる事に決めました。こうしてハードウェアの設計はどんどん難しくなっていました。しかし、MPPとは次元を異にする革命的計算機が誕生することになりました。

ユーザの現場においては、既存の単一 PE の FORTRAN プログラムをベースに並列化を立ち上げていく手順をとらせ、並列化のユーザ負担をコンパイラ負担へとシフトさせていく戦略としました。これに則り、手続き分割、データ分割、通信の主要並列機能をコンパイラがサポートするべく頑張ることに落ち着きました。

くすぶっていた路線論争は、200倍計算機が”意外に”期待できる、並列処理が今後の進むべき道ならば早く路線を切り替える方が得策、などの論調が浸透し、1990年には200倍計算機一つに絞ることで決着しました。

凡百の迷いは一掃され、完成の姿を心に思い描くと思わず身震いがしました。

ハードウェアの設計オフィスは川崎工場本館19階でした。午前1時にならないと一日が終わらないこと、実に2年余続きました。昼間は OS、言語、SE の状況チェックや取りまとめで一杯、やっと夜にハードウェア状況の把握という時間割だったのです。ソフトウェア開発は沼津工場ソフト棟で行いました。沼津チームの士気も高く、名古屋、静岡の富士通関連ソフト会社や外注を巻き込み、OS・運用機能や並列言語・コンパイラを大車輪で開発していきました。

三好先生は、200倍計算機を数値風洞(NWT)と命名しました。この名前には、航空機の全機体形状に対して実践的数値シミュレーションができる計算機であれ、との願いがこめられています。

三好先生は、1991年2月から共同研究「数値風洞の開発研究」をスタートさせ、開発に拍車をかける一方で、航技研への導入戦略や、先進的ユーザの組織化に奔走しました。役所、航空産業界の動きを時々伺いましたが、その解説は芝居を見ているように生き生きして面白いものでした。物事の本質に対する三好先生の洞察力や解説力は、いつでも鋭い刃物のようなものでした。国産計算機メーカーの社長・幹部諸氏の評価もクリヤカットであり、「結局最後は人だよ。人で決まるんだ。」、とよく仰ってました。

予期せぬ問題が続出し、切りがありませんでした。最たるものは、GaAs LSI でした。安定して動作させるための GaAs 仕様が、CPU 設計を進めているそばから変更になり、論理設計・物理設計を幾度となく設計しては捨て、新しい GaAs 仕様で今度こそと期待しても、それじゃ動かない事が分かった、と半導体屋さんから打ち明けられるのでした。ハーフクロック(200MHz)で高速動作させている演算器があり、BICMOS などへの転換(低速化)は到底耐えられませんでした。前進するしか道はありませんでした。三好先生の危惧は的中。我々も、落胆の感を禁じえませんでした。三好先生に報告した時、先生は、俺が言った通りだと得意の面持ちなどせず、微笑を浮かべるだけで、これから GaAs を元気付けなくてはいけない、と仰いました。川崎工場の GaAs 設計部門を度々訪問して、改良計画や進捗を把握し、最後は必ず激励をして帰りました。

GaAsの問題は収まりませんでした。山梨工場で製造に入ったのはいいことですが、良品が一向に採れなく、PE ボードの LSI の面揃え(11X11の121個)が出来ませんでした。この段階になっても CPU の設計変更と PE ボードの物理設計変更を並行してやらざるを得ませんでした。役員や本部長が一度ならず山梨工場に乗り込み、設計・製造に携わっている者を食堂に集め喝を入れました。小さい工場は、本当に一生懸命取り組みましたが、設計が悪ければいくらバルクを投入しても良品は出てきません。

三好先生も、山梨工場を視察し関係者を激励されました。その足で身延線を利用して沼津に行き、沼津工場を視察されました。甲府から南アルプスの裾を富士川沿いに太平洋に向かって南下する列車の旅でした。車窓から次々に見えてくる山の名前と標高を三好先生は教えてくれました。甲斐駒などポピュラーな山なら分かりますが、「あれは櫛形山、標高はこれこれ、頂上には6月に綺麗なあやめが咲く。」、「あれは塩見岳、標高これこれ、頂上から潮(海)が見えるか賭けをして登ったことがある。」。ちゃらちゃらした北は嫌い、孤独な南を好むことなど、揺れの激しい単線の列車の中で話が続けました。

1991年になると、NWT の製造や試験が沼津工場ハード棟で始まりました。NWT は PE が140台で構成されましたので、部品数は歴大でした。LSI は19844個、多層セラミック基板は164枚、主記憶(36ギガバイト)のメモリ素子は322560個を集約しなければなりません。無論、少数台の確認・修正また確認を繰り返し、徐々にびくびくしながら PE を投入していきました。これを展開する沼津工場のパワーは、頼もしいものがありました。手配・検査・製造・試験・工程管理・障害管理にわたる驚異的物づくり力がなければ革命的高速計算機は動かなかっただしょう。水冷のための冷却水循環装置から各筐体への水配管、電源装置から各筐体への電力供給ケーブル、筐体間信号同軸ケーブル、クロック同軸ケーブル、センサーケーブルなど、床

下はケーブルが縦横に走りかつ重なり床板が浮くほどでした。こうしてNWT 試験場が沼津工場につくられていきました。

100人余のハードウェア設計者、および100人余のソフトウェア技術者とシステム技術者は、工場の製造・試験のメンバーと一体となり、3シフト、土日休まずで約1年、確認・試験に没頭しました。青年期、壮年期のハードウェア技術者は、工場の寮に住み込み、家庭を忘れ、会社を無視し、世を捨て、NWT 試験に打ち込みました。1993年1月15日から航技研(調布)センターへ機器の搬入が始まり、やっと動作する状態で辛くも2月1日センターで稼動することができました。

NWT の設計で、悔やまれることが3つありました。開発期間が当初の思惑より1年余計にかかったこと。初動の立ち上がりが鈍かったことが尾を引きました。三好先生からお小言を一度だけ言われました。2つ目はユーザが使えるメモリー量が窮屈であったこと(PE あたり200メガバイト弱)。PE あたりのメモリー量256メガバイトに対して、NWT-OS の常駐容量が予想より大きく、またメモリー量拡大設計が叶わなかった為です。後に富士通の商用機 VPP500では、1ギガバイトに拡張しました。三好先生は、「昔、OS は獅子身中の虫だ、と言ったらソフト屋から総好かんを食った。でも、やはりOS は獅子身中の虫だね。モニター程度でいいんだが。」と、にこにこして楽しそうでした。3つ目は、PE 間データ通信プロセッサ(DTU)のソフトから見た立ち上がり時間が、長すぎたこと。詳細設計の段階では厳密に把握出来ませんでした。計算量が小さい、転送データ量が小さいという小粒な問題では、計算と通信のレシオの改善に苦心しました。

NWT が航技研に設置されると、SE とセンターはシステム運用の立上げとアプリ走行にてんてこ舞いでした。NWT-FORTRAN を使い、NAL-TEST-CODE、NS3D、MD (格子が2つ)などのアプリケーションの並列化、および最適化を進め、1993年の年央、NS3DにおいてVP400の100倍を超える性能を確認しました。また、1993年11月には、NWT(140PE)が「TOP500 Supercomputer Sites」で世界一位にランキングされました。計算は、任意の元数の行列積という馬鹿馬鹿しいものですが、同一条件で世界のコンピュータ性能のポテンシャルを評価するにはTOP500でよしとしましょう。航技研の計算センターは、51位から1位に躍り出たわけです。1994年6月には米 Sandia 研究所にわずかに抜かれましたが、1994年11月1位奪還、1996年6月までは1位、1996年11月にはつくばの CP-PACS に抜かれ2位へ、1997年6月には3位へと後退していきました。もう一つ特筆すべきことは、1994年、1995年、および1996年と連続で、NWT が米 IEEE の並列計算機の利用に関する「Gordon Bell Prize (性能部門)」を受賞したことでしょう。3年連続は世界初の快挙でした。94年はNWT

の開発と乱流の直接シミュレーション、95年は QCD の計算、96年はジェットエンジン・コンプレッサの全周シミュレーションでした。

数値風洞(NWT)が如何に革命的であったか、航技研研究者がいかに関世界のトップに行く計算を先取りしていたかを TOP500や Gordon Bell 賞は問わず語っています。

双子の兄弟であるところの富士通 VPP500の成長も記しておきましょう。富士通は、NWT をベースに商用機 VPP500の立上げを進めました。1993年度にスーパーコン調達の政府補正予算がつき、4つの研究施設(通総研、理研、オングストローム研、つくば大)から公募が出ました。富士通スーパーコン部門は、営業、SE、事業部が正に一体になり、商談獲得に奮闘しました。NEC SX と米国機が競争相手でした。開けてみてびっくり。4つとも富士通 VPP500 が取ってしまいました。商談獲得で社内の VPP 反対派は全くいなくなりました。営業・SE の氣勢は上がり、次々とスーパーコン商談に応札しては国研、大学、海外のセンターをとりました。VPP は、1995年6月の TOP500ランキングのうち TOP20に6サイト入りしましたし、1997年6月では33サイトが掲載されました。

欧州中期気象予報センター(ECMWF)からフランス気象庁(Meteo France)に繋がる VPP の快進撃は、VPP500の後継機である VPP700やその後継機である VPP5000によって成し遂げられました。ECMWF には、1996年に VPP700/46が納入され馴らし運転が開始されました。1996年10月1日、20年間の長きにわたり愛顧された米 CRAY Research の機械はシャットダウンされ、オペレーションは VPP700に引き継がれました。納入会社の会長として、1996年秋、ECMWF ワークショップ(英国レディング)において、山本卓真会長が富士通の高速計算機の展望について講演をしました。今度富士通に変わったが、その会長の何を言うか、皆耳をそばだてていました。山本会長の講演(英語)は正に威風堂々。自信に満ちた大きな声が講堂に響きました。蓋し、富士通のスーパーコンは20年も前に(FACOM230-75APU)俺が始めたんだという矜持が心の底にあったのではないのでしょうか。会場からの質問に間髪を入れず答え、会長講演は ECMWF の兵にいつそう安心感を与えました。1999年 VPP5000/48が導入され2000年には100PE に拡張されました。世界で最も先進的な気象予報センター・気象予報の世界一のショーケースである ECMWF は、2003年まで6年間にわたり、その中核に VPP を据え、気象予報の誤差の最小化と10日先予報のプロダクションを欧州18国向けに展開しました。

Meteo France は1997年に VPP700/26を導入しました。その後1999年には VPP5000/31に更新、2003年には VPP5000/64と VPP5000/60の Dual Systemに拡張し、2007年6月まで使用しました。Meteo Franceこそ、実に VPP の真

髓を理解し、VPP の力を最大限発揮し、フランス全土の気象予報サービスを10年間の長きにわたり展開した VPP の大ファンでした。

ECMWF や Meteo France のようなノンストップでタイムクリティカルな業務を行うセンターでの長期運用実績は、多種多様な実践的要求を取り入れて、VPP がセンターマシンとして完成の域に達したことを示すものでしょう。

欧州の航空機・ジェットエンジン・自動車・石油探査などの産業界や、大学・研究所における科学技術研究に VPP は続々と採用されました。NEC SXを含めて、日本のスーパーコンは、1990年代、世界のトップを取ったといえるでしょう。NWT の開発に取り組まなかったら、米国機の後塵を拝しているだけの日本勢だったでしょう。三好先生は、VPP の躍進を大変喜んでくれました。三好先生の先見性、洞察力、そして指導力、実行力にはいつも敬服するばかりです。

1994年になると三好先生の頭の中は、次を考え出していました。原子力、材料、気象、気候、海洋などアプリケーションの勉強に励んでいらっしゃいました。後の地球シミュレータ(ES)の基礎勉強だったんです。並行して、ES 仕様を作成するべく半導体技術動向、実装冷却技術動向を踏まえベース仕様を検討しました。入札のぎりぎりになって、富士通は ES 応札を見送るに至りました。同時に、富士通は VPP5000を以ってスーパーコンの開発をストップしました。以降はビジネス向けサーバーをクラスタリングした製品を販売する羊頭狗肉の事業へと変質していきました。

凡将率いる富士通は、その高速計算機技術をゴミ同然に捨てる愚かなことをしたのです。

ES が稼動しようとしている2001年、三好先生は ES-Ⅱ の構想を検討し始めました。その年の晩夏、三好先生の入院されている病院のベッドの脇で、先生直筆メモをもとに説明を伺い議論しました。10月と11月にも呼ばれ検討を行いました。三好先生は、資料の中で(2001年11月6日付け)計算機プロジェクトを成功に導く人材について書いています。才能と意欲に溢れる技術者がいくら居ても充分ではない。プロジェクトの計画に対するロイヤリティが不可欠であって、この観点で人材を眺めた時、人材は敵、敵のシンパ、中立、計画のシンパ、チーム員とカテゴライズして区別すること、と。さらに、プロジェクトのステージに応じて秘密保持と開示を厳格に加減する必要を説いています。

FACOM230-75APU から ES に連なる三好先生が一から築いてきた日本のスーパーコンの道、この道を一体誰が受け継ぐのでしょうか。嗚呼今だ道は見えません。

2008年3月31日

高村 守幸