

# スーパーコン：高校生・高専生の電腦甲子園

渡辺 治

スーパーコンは、毎年、夏、東工大と阪大が共同で開催する高校生・高専生を対象としたプログラミングコンテストである。参加者は、1つの課題問題に対し、スーパーコンピュータを駆使して、その問題の解を求めるプログラムを作成する。夏の電腦甲子園とも呼ばれ、毎年、プログラミング好きの高校生・高専生が難問に熱く挑む。その中から、素晴らしいプログラムも生まれる。本稿では、これまでの大会における高校生・高専生諸君の素晴らしい活躍ぶりを紹介する。

キーワード：プログラミングコンテスト、高校生・高専生、スーパーコンピュータ

## 1. はじめに

毎年、夏、プログラミング好きの高校生・高専生が日本各地から集まってきて熱い戦いを展開するプログラミングコンテストがある。スーパーコンピュータ・コンテスト（通称、スーパーコン）である。

今年で20周年を迎えるスーパーコンだが、毎年、高校生・高専生諸君が新たな驚きとドラマを生み出してくれる。彼らを相手に、いつも冷や汗をかいている筆者が、彼らの活躍ぶりをお伝えしよう。

スーパーコンについては、これまでも機会のあるたびに紹介してきたが[1, 2]、本稿だけでも全貌がわかるように述べることにする。そのため重複する説明なども多いがご了承ください。

## 2. スーパーコンとは？

スーパーコン SuperCon とは、スパコンを用い行われている高校生・高専生対象（高専生は高校生と同等の学年まで；以下では単に「高校生」と呼ばせていただく）のプログラミングコンテストである。東京工業大学にて1995年から始まったが、2006年の第12回大会からは大阪大学と同時共同開催となり、偶数年は東工大のスパコンを、奇数年は阪大のスパコンを、東京と大阪の両会場から同時に利用し、コンテストを行っている。毎夏に行われるため「夏の電腦甲子園」と呼ばれることもある。

スーパーコンは毎年、表1に示したような日程で行われている。スーパーコンへの参加は、同一校の高校生・高専生でチームを結成し（1チームは2～3名）、

表1 スーパーコンの日程（2013年の例）

<ul style="list-style-type: none"> <li>・参加チーム募集（6月3日（月）） 予選課題発表 ↓ メールで応募・解答を受付</li> <li>・予選解答のメ切（6月21日（金））</li> <li>・予選審査（6月28日（金）） 本選出場チーム発表（各会場10チーム） ↓ コンテスト課題予告</li> <li>・本選開始（8月19日（月）） 東工大・阪大に集合（講習等） ↓ プログラム作成</li> <li>・プログラム審査（8月22日（木）午後）</li> </ul>
--

予選課題へ挑戦するところから始まる。この予選課題の問題に対するプログラム（とそのレポート）を元に、毎年約30～40チームの応募の中から各会場ごとに10チーム、合計20の本選出場チームを選抜する。なかなかの激戦だ。

本選では、ある課題に関する問題を1つ提示し、スパコンの性能を活かしてそれを解くプログラムを4日間かけて作り上げる。課題とその具体的な問題についての説明が初日に行われ、評価基準や制限計算時間などが明確に示される。それ以後、プログラム提出までの4日間、高校生諸君の熱い闘いが行われるのである。

## 3. スーパーコンの魅力

スーパーコンはプログラミング・コンテストだが、通常のプログラミング・コンテストと異なった特色を持っており、それがスーパーコンの魅力になっている。

### 3.1 特色：課題解決型コンテスト

通常のプログラミング・コンテスト、例えば国際情報オリンピックは、テスト（筆記試験）型のコンテストである。つまり、決められた時間に筆記試験のようなテストを行い、それを提出し、採点してもらう、と

わたなべ おさむ  
東京工業大学情報理工学研究所数理・計算科学専攻  
〒152-8552 目黒区大岡山2-12-1 W8-25

いう形式で競われる。それに対し、スーパーコンでは、課題問題が1問だけ与えられ、それに対し、数日間かけて取り組む形のコンテストである。

課題問題はかなり難しいものが出される。その1問を高校生が数日間、必死に取り組むのにふさわしい問題が与えられるのである。テスト型コンテストでは、出題者は解答を知っているのが普通だが、スーパーコンでは問題作成者自身も、正解は何か（どんな解法が最もよいのか）わからない場合もある。したがって、テスト型では「採点」だが、われわれのコンテストでは「審査」が行われる。提出されたプログラムが正解かを見るのではなく、その性能を審査例題を用いて評価するのである。

このような形式のため、単に知識や技術だけではなく「何か」が勝敗を決める鍵になることがあり、毎年、何らかの形でドラマが生まれる。いろいろなアプローチを試み、失敗を繰り返しながら見事なプログラムを作成する場合が少なくないからだろう。そのためには気力と体力も必要なのである。

### 3.2 特色：不思議な一体感

課題解決型コンテストのためか、コンテスト参加者（コンテスト主催者も含め）の間には「同じ問題に挑戦している」という不思議な一体感が生まれるようである。もちろん、他チームは競争相手でライバルなのだが...

プログラム作成初日には、スパコン用プログラミングの講習や、場合によっては課題に関する予備講習なども行われる。また、プログラム作成中には、センターのスタッフやチューター（大学院生）から、プログラムの書き方やデバッグなどについてのアドバイスを受けることもできる。このように、一緒に講義を受け、演習室でガヤガヤしていると、皆が一体で問題に挑戦している、という雰囲気が出てくるのかもしれない。

2名以上のチームでの参加も雰囲気作りに役立っているようだ。共同作業を組む場合でも、チームのメンバーの誰かが暇になっている場合が多い。その暇メンバー同士が情報交換を始め、それを契機にチーム同士のつながりが出てくるのである。

プログラミングの場である東工大と阪大の演習室は、本選期間中、午前8時から午後8時まで利用できるようになっている。ただ、冷房の効いた部屋に閉じ込めりっきりでは体に悪いとの配慮から、毎日、午後3時には「お茶休憩」と称して、休みを強制的に取らせることにしている。その間、東京・大阪会場をポリコムで結んでの交流もできるようにしている。

そもそもがプログラミング大好きな連中の集まりである。似た者同士というところもあるのだろう。最初は固いが、2日目くらいからはかなり打ち解ける。課題に関することから趣味のゲームまで、話題に事欠くことがないようである。

黙々とプログラミングしている子もいるが、自分達の新しいアイデアがうまくいきそうだと、それを自慢したくなる場合が多いようだ。最初はチューターやスタッフに説明を始める、それを他チームのメンバーが見に来て人が群がる。コンテストも後半にもなると、このような光景が見られることも少なくない。（もちろん、こうした場合でも詳細までは説明しないし、他チームのメンバーも深くは聞かない。）その点、なぜか「ほどほど」の線を皆、身につけているようである。最近では、電子掲示板（コンテスト参加者用 Wiki での「つぶやき」）も使われている。「つぶやき」だけに競争以外にもさまざまな書き込みがあり、ヒヤッとしたこともあるが、これも経験だし、彼らにとっても貴重な社会勉強になったと思う。

### 3.3 特色：スパコンと吟味された課題

スパコンをぶん回せる! というのも大きな魅力だ。通常のパソコンが自家用車だとすれば、スパコンはレーシングカーに相当する。「プログラミング好きの若者たちに、そのレーシングカーを経験させてあげたい」という単純な気持ちがスーパーコンの発端だった。

スパコンという名称は、その時代において最高レベルの計算性能を発揮するマシンに与えられてきた称号である。したがって、スパコンは日々刻々と進化している。その最先端の機器を、まさに文字どおり「ぶん回す」ことができる4日間なのである。

コンテストでは、これまで、時代を代表するスパコンを使ってきた。最初は1995年に東工大へ導入されたCray社のスパコンCray C90である。この導入がスーパーコン開始のきっかけともなった。その演算性能は12 Gflops (1G (1 ギガ) = 10 億) で<sup>1</sup>、当時のパソコンの性能 (0.1 Gflops 程度) の約100倍だった。

コンピュータの進歩は目覚ましい。1995年のスパコンCray C90の12 Gflopsは、今では一般のパソコンでも十分達成できる演算速度になってしまった。ではスパコンは? という、現在の東工大のスパコンTSUBAME 2.5は (単精度計算で) 17 Pflops =  $17 \times 10^6$  Gflops。これは大ざっぱに見積もってもCray C90の $10^6$  (=100

<sup>1</sup> フロップス flops は1秒あたりに行える小数に対する演算回数のこと。計算性能を測るときに一般的に用いられる量である。

万倍)の性能だ。こうした最先端のスパコンを直に使えるのである。

課題を考え問題を出す側でも、スパコンをぶん回すのにふさわしいものを、と毎年苦勞している。これはかなり手前味噌の話だが、課題問題がよく吟味されたおもしろい問題である、というのも重要な特色の1つとってよいだろう。スーパーコンの課題は、東工大・阪大の情報分野の研究者やさまざまな分野でスパコンを活用している研究者にアイデアを出してもらい、それを課題作成委員会で検討して実際の課題と審査用の問題を作成するのである。

参加者のアルゴリズム設計能力、プログラミング力を考え、おもしろく、かつ、与えられた期間で何とか達成できるよう、課題の難しさを決めるパラメータを調整するのが非常に難しい。最終的には、委員会で議論する、というよりも、一人か二人の委員がプログラムをいくつも作って、難しさを吟味し、パラメータを調整する、というのが毎回の作り方である。そしてこちらの想定外となる結果を出してくれるのが、高校生諸君なのである。

#### 4. 高校生諸君、素晴らしい!

筆者は本選課題の作成に何度か関わってきたが、高校生諸君を相手に苦杯をなめることしばしばである。これは筆者の脇の甘さのためでもあるが、彼らの頑張りが素晴らしい結果へと結びつくことが少なくない。そうした例を簡単にご紹介しよう。なお、紙面の関係上、課題問題や解法については大まかにしか述べられないので、詳細はスーパーコンのホームページ [3] をご参照いただきたい。

##### 4.1 1995年：石選び問題

ドラマは、まさに第1回大会から起きた。この大会では「石選び問題」を課題とし、本選では次の問題を審査問題とした。

##### 石選び問題

与えられた40個の石の重さ  $s_1, \dots, s_{40}$  と目標値  $W$  に対し、合計が  $W$  となるような石の選び方を求めよ。

要するに NP 完全型探索問題の1つである Subset Sum 問題である。すべての石の選び方を試そうとすると  $2^{40}$  通りとなり、これは当時のスパコンでも1時間程度かかってしまう。一方、制限時間は10分間。枝刈りなどを工夫すれば、その程度は達成できるだろう、



図1 第1回スーパーコン優勝チーム (スパコン Cray C90 の前)

という見積りだった。ところが...

何と優勝チームは4.7秒で計算するスーパープログラムを開発してしまったのである。

アイデアは(言われてみれば)そう難しくない。まずは、(1) 後半の20個の石  $s_{21}, \dots, s_{40}$  のすべての選び方に対し、各選び方での石の重さの総和を表  $T$  を作っておく。そのうえで、(2) 前半  $s_1, \dots, s_{20}$  の石の選び方すべてに対し、(i) その選び方での重さ  $W'$  を求める、(ii) それが与えられた目標の重さ  $W$  より大きければ却下、(iii) そうでないならば、 $W'' = W - W'$  を求め、その  $W''$  が表  $T$  中にあるかを探し、見つければ「答え」として出力する、という計算を行ったのである。

表  $T$  中に  $W''$  を探すのをまともにやると時間がかかってしまう。しかし、ハッシュなどを使えば高速に探索できる。そうすることで、石の数を  $n$  とすると、計算ステップ数は、大ざっぱに見積もって、(1) で表  $T$  の準備にかかるステップ数、+(2) の (i)~(iii) の繰り返し計算に必要なステップ数、つまり

$$\begin{aligned} & (1) + (2) \\ & \approx (1) + \text{前半の石選びの総数} \times W'' \text{の探索時間} \\ & \approx 2^{n/2} + 2^{n/2} \cdot n = (n+1) \cdot 2^{n/2} \end{aligned}$$

となる。これならば  $n=40$  の場合、5秒程度で計算できる。(  $2^{40}$  が1時間) vs. (  $41 \cdot 2^{20}$  は5秒) なのだ。

その当時の私の常識では「 $2^{20}$  要素の配列を作るなんて！」だったのだが、優勝チームの彼らは(無謀にも)それをやってしまったのである。しかも、彼らは独自に、ハッシュ法と、それをういた  $W''$  の高速探索を編み出してしまったのだ。プログラムとしても洗練されたものだった。

もっとも、彼らも当初は、相当、戸惑っていた(と



図 2 スパコン TSUBAME2.0

いうより途方に暮れていた) ようだ。他チームがいろいろな手法で部分的に成功していた中で、何とか抜け道はないだろうか? と探っていたようである。ようやく最終日にアイデアをつかんで、一気にプログラミングし、素晴らしい作品(プログラム)に仕上げたのである。本人たちの才能はもちろんだが、高校生3年生の粘り・気力・体力に「参りました!」の大会だった。

#### 4.2 2012年: 非出会い系乗車最長パターン問題

スパコンは激しく進化している。現在はGPGPUなどを利用した超多コア並列による高速化が盛んに行われている。GPU (graphics processing unit) は、そもそも画像の処理用に開発されたものだが、非常に多くの計算コアが効率よく利用できる点を一般の計算にも活用しよう、ということで生まれたのが「汎用GPU」(GPGPU)である。高級なGPGPUになると、1つにCPUの演算装置にあたるコアが500個程度搭載されている。もちろん、500コアの1つ1つはCPUに比べれば能力に制限があるが、上手に使えると500コアの並列計算が可能なのである。

このGPGPUを世界で初めてスパコンに本格的に活用したのが東工大のTSUBAMEである(図2)。それにより大幅な演算能力向上を成し遂げ、世界をあっという間に驚かせたのである。第18回大会でも、このGPGPUを高校生諸君に使いこなしてもらう、と計画したのだ。そこでまた苦杯をなめたのである。

スパコンの進化もすごいが、高校生諸君の進化も大変なものである。情報オリンピックの影響もあって、さまざまなアルゴリズム技法やデータ構造に精通した高校生が育ってきたのだ。上記のハッシュの利用法など、今や彼らには常識かもしれない。それが発揮されたのが第18回大会だった。

この回の本選問題は次のような問題だった。

#### 非出会い系最長乗車パターン計算問題

ある都市の地下鉄路線図と1日の列車運行表が与えられる。それに対して、3人が1度も同じ駅で出会わないようにしながら、3人の合計走行距離が最長になる丸1日の乗車パターンを求めよ。

審査では、駅数40、路線数5、総列車数6,000の審査用データ例を3組用いた。

われわれが想定していたのは、動的計画法によりアルゴリズムを設計し、それをGPGPUにより高速化し、約1分くらいで計算するプログラムである。ところが上位4チームはなんと1秒未満、優勝チームに至っては0.06秒で計算するプログラムを作ってしまったのである。しかも、1CPUしか使わずに!

実は、この問題はORの分野でもよく知られている「最小費用流問題」に定式化できてしまったのである。われわれは、当初はいろいろな制約のある問題を考えていたのだが、あまりに複雑だとGPGPUの威力を発揮することができない。そのため、問題をどんどんやさしく変更していったのだが、そのために、最小費用流問題に帰着できるところまで簡単になっていたのだ!

その点を見事に見抜き(そう簡単ではない)最小費用流問題を解くアルゴリズムをプログラム化したチームが4チームもいたのである。彼らの知識力に「参りました!」の大会だった。

#### 4.3 2013年: 宇宙の起源探索問題

そして昨年、今度こそGPGPUの真価を実感してもらおう、とチャレンジしたのである。今回は(ちょっとずるいが)最初からGPGPU向きの課題を考えた。多体系の粒子の運動の計算を課題としたのだ。具体的には次のような問題を本選問題としたのである。

#### 宇宙の起源探索問題

格子面上に粒子が $M$ 個存在し、各々が一定の速さ(向きは異なる)で衝突や拡散を繰り返す宇宙モデルを考える。入力としては、初期宇宙状態の候補(A群)と観測された現在の宇宙状態(B群)が与えられる。このB群の各宇宙状態に対し、A群の中から、その出発点となった初期宇宙状態を探し出せ。

B群の各宇宙状態は、A群のどれかの宇宙状態を初期状態として、それから、ある経過時間(正確な値は不明)を経た後の宇宙状態である。また、粒子同士が



図3 第19回スーパーコン本選風景（東京会場）



図4 第19回スーパーコン本選風景（大阪会場）

衝突した際の跳ね返り方は、ある特定の規則—これをコンテストではGK理論と呼んだ—に従うものとした。

なお、審査では、粒子数 12,000 個、格子領域  $500 \times 500$  (25 万格子点)、経過時間 2,500~7,500 ステップ、A 群の状態数 250、B 群の状態数 100、というパラメータ設定でランダムに生成した例題を用いた。

今回は比較的単純な（けれども多粒子なので計算自体は重い）シミュレーションなので、GPGPU 向きである。また、アルゴリズム的な技法も使えそうにない。というわけで、皆が GPGPU プログラミングに専念し

てくれるはずだった。のだが...

1 CPU ならば 20 分程度かかる計算であったが、複数のチームが GPGPU での高速化に成功していた。とくに第 2 位のチームは 27 秒程度で計算する素晴らしい GPGPU プログラムを作成したのである。ところが優勝チームのプログラムは なんと 0.05 秒! またもや! である。

衝突の際の跳ね返り方を決めた GK 理論は（もっともらしいものを）筆者が手作りで作成した。ただ、それにはある種の保存則が存在していたのである。それを見抜かれてしまい、シミュレーションなしで初期状態を当てる方法が使われてしまったのである。それでも、注意深く初期状態を作っていれば、その手法は通用しない。彼らの努力とギャンブル精神にまたまた「参りました!」となったのだ。

なお、真面目にプログラミングした第 2 位のチームに対しては、その技術力に対し、学会奨励賞（電子情報通信学会・情報システムソサイエティ奨励賞と情報処理学会若手奨励賞）が贈られた。

## 5. そして今年は 20 周年!

このスーパーコンも 2014 年の SuperCon'14 が第 20 回となる。それを記念して、今回は全チームを東工大に招き、少々盛大にお祭りをしたいと考えている。なお、今回は失敗続きの筆者は降板させられ、阪大の先生方が本選課題を考えるので面白い問題が期待できる。成果発表会（8 月 22 日）には一般の方々も大歓迎なので、東工大へ足を運んで高校生諸君の熱い戦いの結果をご覧いただければ幸いである。

### 参考文献

- [1] 松田裕幸, 渡辺治, 『スーパーコン甲子園—プログラミング大好き高校生たちの挑戦!』, 日本評論社, 2005.
- [2] スーパーコンの報告, 毎年の数学セミナー (日本評論社) の 12 月号もしくは 1 月号.
- [3] スーパーコンのホームページ, <http://www.gsic.titech.ac.jp/supercon/>