

# 計算科学—未知への挑戦—

矢部 孝

東京工業大学 理工学研究科

yabe@mech.titech.ac.jp

## 計算結果を信じられるか？

1999年5月にThe Royal Institution of Great Britain (以下RI)の200周年記念講演を依頼された。Scientific Computing for the Next Centuryというテーマで8人の招待講演者が、2日間にわたって講演を行った。このうち、6人がアメリカ人、残りがヨーロッパ共同体ECと筆者(日本人)というアンバランスな構成であるが、コンピュータ先進国のアメリカが多くなるのは仕方ないことかもしれない。RIといえば、Faraday, Bragg, Rutherford, Cavendish, Young, Dewarなどのそうそうたる顔ぶれが登場する研究所である。この記念講演会もFaradayが200年近く前に行った講演会場(lecture theater)と同じで、演壇も同じという重厚な雰囲気のものであった(図-1)。このような古めかしさにコンピュータの話題は全然そぐわないものと思っていた。しかし、現在の所長は脳科学分野の女性で、RIも最新のコンピュータを導入し、材料科学などの分野で意欲的に計算科学に取り組んでおり、このような分野こそ21世紀を担うものであるとの認識がある。日本でも、見習って欲しいと思うのは、筆者が計算科学に身を置く者であるからであらう。

会議の話題は、超大規模コンピュータ群を用いた巨大プロジェクトASCI計画、未来のインターネットの構想をイリノイ大学NCSA、ECでの共同ネットワークプロジェクトDGXIIIなどのシステム側の話と、天文、医薬、材料の各分野からの計算科学のレビューがあった。筆者は、固体・液体・気体というすべての物質を同時に解く新しい発想の計算法について話を行った。自分で言うのも変だが、唯一の英語の下手な東洋人であったのに意外に好評で、非常にたくさんの方や理事の方から「すばらしかった」「とてもエレガントな講演でした」などと、声をか

けていただいた。最も外国人はお世辞が上手だから、割り引いて置かねばならないが。

ちょっと自慢話になってしまったが、ここに至るまでには、16年の苦勞があった。筆者が非常にしつこい性格であったのと、良き弟子と共同研究者(本特集の青木・肖両氏はその2人)に恵まれたことが、逆風に負けずに16年持ちこたえた理由である。我々の方法はCIP (Constrained Interpolation Profile) 法<sup>1)~5)</sup>と呼ぶが、これを広めるために筆者は3つの方法を行った。(1) ソースコードを公開し使ってもらう。(2) できるだけ多数の企業の人と話をし、新しいシーズを探した。(3) シミュレーションに縁のなかった人が興味を持ってやりたくなるように、分かりやすい説明を考えた。

「特許をとっていれば儲かったのに」と言ってくれる人が多いが、(1) のようにして広めたからこそ発展したのだ。(2) も大切である。最近、「もう数値流体にはやるのがなくなった」という中堅クラスの研究者がいるが、これは始末に負えない。第一線の研究者の言葉だけに、若い人がこれを本気で信じてしまう。ところが、企業の人たちと話をすると、ほとんど手付かずの新しい計算分野が山ほどある。実は、10年前に、レーザー加工という未知の計算分野に挑戦したときから、CIP法の進歩が始まった。このシミュレーションができるようになったという記事が日経産業新聞の一面トップを飾ったことから、この技術の重要性が分かるだろう。(3) は、この手法を見直すきっかけにもなった。新聞記者や雑誌社の方と、素人に分かる説明方法なども工夫する機会をいただいた。

今までの計算結果は実験の後追いで、常識をはずれた結果は、実験で実証するしかないことがほとんどであった。計算が、これを超えるツールになる可能性はあるのか？ 計算科学には、身近なことでも、こんなこともま



図-1 王立研究所での200周年記念講演。左図が、いっしょに講演したプリンストン大学のOstriker教授。数値天文学の世界的権威である。休憩時間なので人がいないが、この階段教室に動きがとれないほどの人を詰め込んだ（発表では、200人以上入っていたようだが、階段の最上部はめまいがするほど高かった）。中央の机がファラデーも使用したというもので、200年経っても立派であった。右図が筆者で、ファラデー像の前で。ここが、正面入り口。

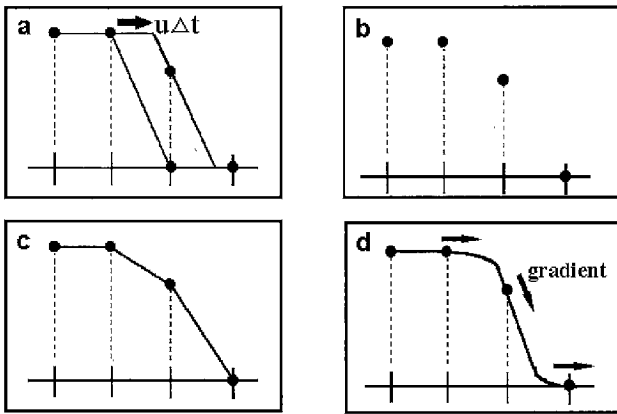


図-2 CIP法の原理。a:Δtの時間内に動いた波形で、厳密解は実線。しかしこの厳密解も、線を消せばbのような点だけの情報しか記録されない。これをcのように直線で結ぶと、解がなまる。これを防ぐには、dのように、微分の運動も考えればよい。

だできないのかというような問題が多数ある。また、解くことがほとんど不可能と思われる問題もある。しかし、それでも挑戦を諦めないのが研究者である。ここでは、この未知なる分野へ挑戦する1つの流れを紹介し、若くて新鮮な研究者(気が若い人も含める)への招待状としたい。

## サンプリング定理を超える計算手法

計算格子がわずか3つで一波長の波の伝搬を正確に捉えられるCIP法が誕生した。これは、情報理論というサンプリング定理に反している？ 本稿で出てくるたった2つの方程式を用いて、CIP法の原理を紹介したい。1つ目は

$$\frac{\partial f}{\partial t} + u \frac{\partial f}{\partial x} = 0 \quad (1)$$

で、双曲型方程式と呼ばれている。(1)式の解は、単に波が速度 $u$ で移動するだけである。 $f = \sin(x-ut)$ が(1)を満足し、時間とともに $u$ で動くことを確かめて欲しい。初期のプロファイル(図-2(a)の実線)は、連続体では図-2(a)のように移動するだけである。このとき、次の時刻での格子点上の値は黒丸となっており、計算機はこれだけしか記憶していない。それでは、計算機の気持ちになってこの黒丸だけを残してみよう(図-2(b))。この黒丸から図-2(a)の連続解が想像できるだろうか。よほどの変人でない限り図-2(c)のようにつなぐであろう。このように、有限の点(格子点)だけを用い、格子点間のプロファイルを忘れると、有限の点の値は同じであるにもかかわらず図-2(a)が(c)のように解釈されてしまう。このように人間(計算機も)が解釈したとたん、拡散が起こる。これを数値拡散と呼んでいる。これは、格子点間のプロファイルを線形で補間(図-2(c))したためであり、こういうスキームを一次風上差分と呼んでいる。

それでは、というので線形補間でなく二次補間でやればという、今度は波形が波立ってくる。これが、Leith法またはLax-Wendroff法である。物理的な意味を忘れて単なる“滑らかさ”という人工的な条件で解を構成しようとした。本当は格子点間でも、解は方程式に基づくべきものである。ここに、それと無関係な先入観を入れようとするからエレガントではなくなる。上の(1)式を微分してみよう。

$$\frac{\partial g}{\partial t} + u \frac{\partial g}{\partial x} = -\frac{\partial u}{\partial x} g \quad (2)$$

ここで、 $f$ の空間微分を $g = \partial f / \partial x$ と置いた。いま、伝播速度 $u$ が一定の場合には、(2)式は(1)式と一致し、微分

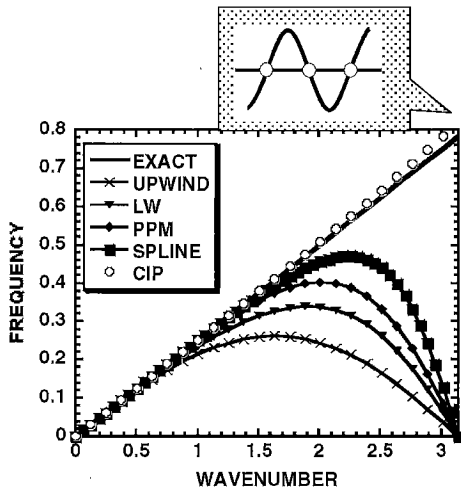


図-3 いろいろな手法での波の伝播テスト。UPWIND：一次風上，LW:Lax-Wendroff, PPM:Piecewise Parabolic Method, SPLINE：スプライン法，厳密解は直線。横軸は $k\Delta x$ で $\Delta x$ はメッシュ幅（サンプリング幅）， $k$ は波数。

$g$ が $u$ の速度で伝播することを表す。これで値 $f$ とその微分 $g$ の時間発展が方程式に基づいて追跡できることになる。こうして、図-2 (d)のように、移動後のプロファイルに矢印のような制限が加わる。この情報を用いればメッシュ間のプロファイルが移動前に非常に近くなることが期待できる。

2つの格子点間のプロファイルを三次多項式で表せば、与えられた4つの量（2点での値と傾き）から三次関数が決定でき、次の時刻での値は、このプロファイルを $u\Delta t$ だけ移動したもので与えられる。

この手法を数学的に解析することができる。いろいろな手法も同様に解析できるので、参考のためにその結果をご覧にいれよう。いろいろな波長の波が伝播するが、今は速度 $u$ が一定であるため、すべての波の速度は一定となる。波はたとえば $\sin(kx - \omega t)$ のように表すと、 $\sin$ の値がゼロの点 $kx - \omega t = 0$ は、 $x = (\omega/k)t$ で移動する。このときの移動速度 $\omega/k$ のことを位相速度と呼ぶ。これがすべて $u$ で動くはずなので、 $\omega = ku$ となるはずである。これは、グラフに書くと図-3の右上がり直線のようにになる。ところが、先に述べた一次風上差分など、すべての計算手法は、 $k\Delta x = \pi/2$ 、別の言い方をすると、 $k/k_0 = 1/4$ のところでは正解からずれてくる。ここで、 $k_0 = 2\pi/\Delta x$ はサンプリング周波数とも呼ばれ、格子幅 $\Delta x$ の逆数である。PPMやSplineと呼ばれる三次精度の計算法でも例外ではない。一方、CIP法は同じ三次精度ではありながら、最後まで正解とともにある。このグラフの右端は $2k = k_0$ であり、この点では、一波長の波が上の吹き出しにあるように3点で一波長を表している。サンプリング定理のいうところでは、

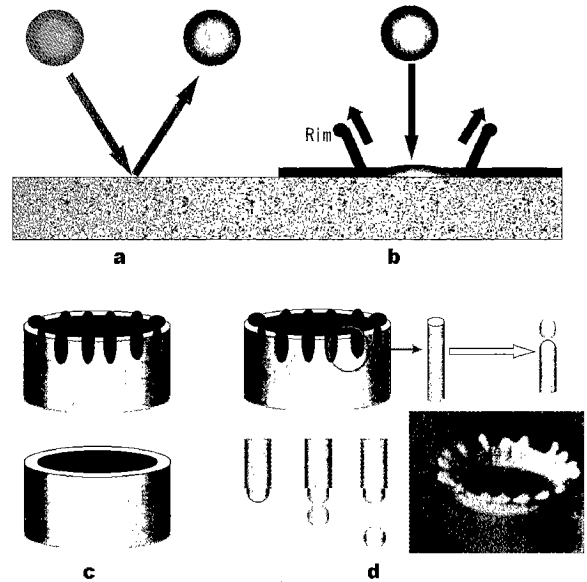


図-4 ミルク・クラウンの形成過程。d右下は筆者の実験結果。

「波数の2倍以上の波数でサンプリングをとらなければ信号は再現できない」である。この図から明らかなように、CIPはサンプリング定理の限界まで、正しい答えを出している。それどころか、吹き出しの図の真ん中の傾きがより急になっているような三角波の波形も記述できるのである。これは、完全にサンプリング定理を破っている。このCIP法の考え方はひょっとすると、サンプリング定理が絡むいろいろな問題（たとえば信号処理）などに応用できるかもしれない。

## 誰も知らなかったミルク・クラウンの謎

CIP法を流体方程式に適用することによって、今までにできなかった計算ができるようになった。この顕著な例がミルク・クラウンである。実はミルク・クラウンの形成メカニズムはいまだに分かっていない。ここで、整理をするために、この現象を順を追って説明しよう。図-4 (a)では、ボールを床に投げつけると反射する。もし、このボールが床に付着して、跳ね返らなかったら、ボールの運動量は消滅する。図-4 (b)のように、床に薄く液膜を置くと、ボールが跳ね返る代わりに、この液膜が弾き飛ばされる。これで、運動量保存則が成立する。この弾き飛ばされた部分は図-4 (c) (下)のように中空円筒状になることは容易に想像できる。ここまでは、何も問題ない。問題は、次の過程(図-4 (c) (上))で、この中空円筒状の部分が円周に沿って分裂する。この分裂した部分を1本だけ取り出すと、円筒形をしている(図-4 (d))

(上)). この円筒形は表面張力によって先が丸くなり、見慣れたミルク・クラウンの形成が完了する。

図-4 (d) (上) の先が丸くちぎれるのは、水道の蛇口から水滴が落ちてゆくと同じ過程 (図-4 (d) (左下)) である。円筒よりも球の方が表面積が小さいので、表面張力は表面積を小さく (すなわち、表面のエネルギーを少なく) するように球へと分裂する。

ここで、よく誤解されるが、図-4 (c) (上) のように、中空円筒が分裂するのも表面張力のせいであると思っている人が意外に多い。中空円筒を縦割りにして広げると、これは平面である。この平面が多数の円筒に分裂するといっているのだから、当然、平面の表面が波立ってゆかねばならない。容易に分かるように、このとき表面積は増大している。すなわち、図-4 (c) (上) の過程では、表面張力はむしろ分裂を抑制するように働く。

では、一体どういうメカニズムでこれが分裂するのだろうか? 一番有力な説は、レーリー・テラー (RT) 不安定性もしくはリヒトマイヤー・メシュコフ (RM) 不安定性である。全部人の名前だが、RMはRTの一種であると思ってもらっていい。では、これは一体どういう現象だろうか? この現象を理解するために、皆さんにまず電車に乗っていただく。満員電車である。電車がなぜか急ブレーキをかけた。みんな足を踏ん張るかすり革につかまって、倒れまいと頑張る。そこへ、踏ん張りの利かない人がいて、1人だけどっと倒れる。これに押されてその人の進行方向の人は全部ドドッと倒れこむ。これを上から見てみると、人の群れのある一部の部分がすじ状に倒れこんでいるのが見えるだろう。これが、RT不安定性である。

ミルク・クラウンの場合も同様である。図-4 (b) の過程で、液膜は上に跳ね上がるだけでなく、床に沿った方向へも広がってゆく。図-4 (c) (下) の中空円筒の半径が広がると思っていたきたい。最初は、この半径の広がり方が非常に早い。液滴が押しのけているからだ。しかし、液滴が広がりきると押し力も弱まり、広がる速度も落ちる。これは、電車が急ブレーキをかけたのと同じだ。あとは、まったく同じで、いったんどこかが崩れ始めると、止まることなく成長していく。

もっともな理論である。だったら、何も謎ではない。20世紀の終わり近くまで、これを疑う研究者はまったくいなかった。ここまでは、もっぱら実験が主体で、三次元のミルク・クラウンのシミュレーションはまだまだ先の話と思われていた。我々は、1997年にCIP法を用いてこの三次元シミュレーションを初めて行った。だが、重要なのは、シミュレーションをやれたということではな

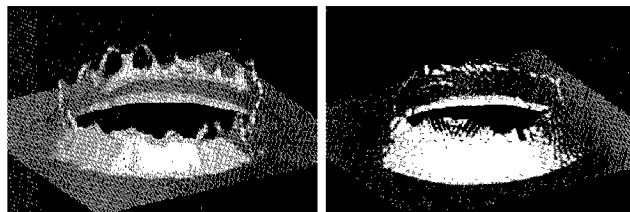


図-5 ミルク・クラウンの三次元シミュレーション。左が通常の大気圧のときで、右が10気圧のとき。後者で、クラウンが消滅している。

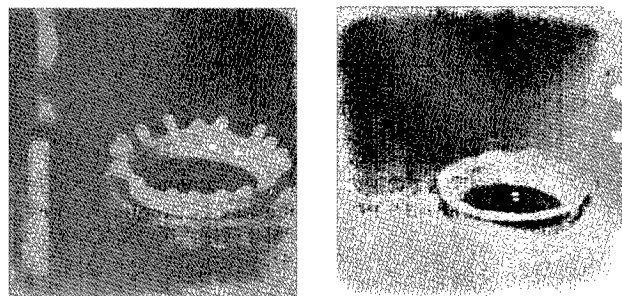


図-6 ミルク・クラウン実験。左が通常の大気圧のときで、右が10気圧のとき。後者で、クラウンが消滅している。

い。何が発見できたかなのである。我々は、このシミュレーションにより、不思議な現象を偶然に発見した。それは、空気の密度を上げたら不安定性がなくなるという驚くべき現象である。RT不安定性の成長率は境界を挟む2つの密度 $\rho_1, \rho_2$ に関して $[(\rho_1 - \rho_2) / (\rho_1 + \rho_2)]^{1/2}$ の依存性を持っている。また電車にたとえると、倒れる人のまわりにぎっしり人が詰まっていれば $(\rho_1 = \rho_2)$ 倒れにくい。そこに空間があると $(\rho_1 \gg \rho_2, \rho_1$ は人の密度、 $\rho_2$ は空間の密度である)倒れやすくなるということを想像していただきたい。

ミルクや水の密度は $1g/cc$ であり、空気の密度は $1mg/cc$ と1,000倍も小さい。 $1 - 0.001 = 0.999$ であるから、空気の影響はないに等しい。我々は、この空気の圧力 (=密度) を10倍にした。それでも、 $1 - 0.01 = 0.99$ であるから、これではどうみても、 $0.999$ と $0.99$ の差が効くはずがない。しかし、驚くことに図-5のように、ミルク・クラウンの不安定性が消滅した。

これは、大変である。今まで信じられてきたRT説と完全に矛盾するからである。こういうときにシミュレーションは情けない。このシミュレーションの論文をいろいろな雑誌に投稿したが、査読者の大半が「なるほど面白いが、この計算結果が正しいという証明をしなさい」というコメントで、掲載許可がでなかった。結局、名もない雑誌に載せたり、国際会議の論文集 (一応、招待講演なのだが) に載せたりしただけである。

ここで、泣き寝入りをしたのでは・・・と、実験屋でもない筆者が、実験を計画した。ここで、読者の皆さんにお聞きします。ここまでの話で、貴方は、図-5の計算結果を信じられますか？ 多分信じないでしょう。筆者自身も、だんだん自信がなくなってきたのだから。それでも、今までの、CIP法の結果に対する自信から、一応やってみた。一応といっても、大変な実験である。高压容器の中で、ちゃんとミルクが落下し、液膜の厚さをうまく調節してきれいなクラウンを作らなければならない。RT説を信じている研究者では、とてもこの面倒な実験をやってみようとは思わないであろう。しかも、まったく実験道具がそろっていないので、高速度ビデオカメラまで買わなければならない。カメラに500万円も費やしてついに撮った写真が、図-6である。この図が、我々シミュレーション屋にとって何を意味するかは、いうまでもない。筆者の今考えていることを皆さんで想像していただきたい。

でも、ミルク・クラウンがシミュレーションできたからといって、どんな役に立つの？ と聞かれるであろう。こういう牧歌的な仕事は、遊びとしか見えないだろう。ところがどっこい、ものすごい応用が待っている。最初は軍事的な目的であり、潜水艦から見て水面に落ちる雨粒の雑音が問題となることもあり、車体に跳ね返る雨粒から出る音を消したいという要求もあった。最近では、犯罪捜査で残された血痕の飛び散り方で、殺人の様子を再現するとか。また、もっと実用的には、エンジンルーム内で燃料が噴射され、これがシリンダ内の壁にあたり、微粒化する。これが燃焼効率に大きな影響を与える。これもミルク・クラウンと同じである。我々の見出した現象は、高密度(=高压)のエンジンルーム内では、微粒化しにくいということを意味している。まだまだ、考えればいくらかでも応用は広がっていく。楽しいでしょう。

## DVDバーコード加工

もし皆さんの手元に映画ソフトのDVD-ROMか音楽ソフトのCD-ROMがあれば、よく見てみよう。丸い穴が空いている外側に、バーコードが描かれているであろう。書いてないものもあるかもしれない。そのサイズはミリメートルくらいだろう。もし、DVDを個別に認識しようとするれば、これくらいのバーコードの数ではまったく役に立たない。今、このDVDバーコードのサイズを10ミクロン(100分の1ミリ)にまで小さくしようとする試みが始まっている。予想される情報量は188バイトとなる(図-7)。

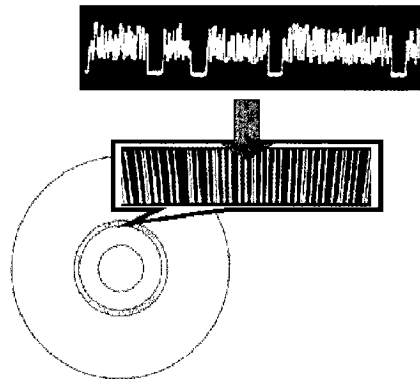


図-7 DVDの上に、後からレーザーでバーコードを書き込む。バーコードの幅は10ミクロンとなり、情報量は188バイトで、1枚1枚が追跡できる(松下電器産業(株)提供)。

これが可能になれば、皆さんにお気の毒であるが、1枚1枚のDVD-ROMが完全に追跡されることになる。

DVD-ROMはポリカーボネート(PC)基板の間に、数百オングストローム(オングストロームは1億分の1センチ)の金属反射板が挟まった格好をしている。バーコードを書き込むためには、この金属に穴を空けなくてはならない。昔、漫才で「地下鉄の電車はどこから入れたの?」という落ちがあった。今では、ほとんどの地下鉄が地上線へとつながっているのでこんな落ちもまったく面白くなくなったが。これと同じように、「2つの基板に挟まれた金属を切ったときの、削りかすは、一体どこへいったの?」という漫才ができるかもしれない。

このバーコードを削る役割をするのが、レーザーである。PC基板はレーザー光を通過させるので、基板があっても、直接金属にエネルギーを与えることができる。DVD自身がこうしたレーザーによって記録を読み出している。しかし、バーコード作成に使うレーザーはもっと強力なレーザーである。なにしろ穴を空けなければならないので、このように、「肉を切らずに骨を切る」という芸当ができるのもレーザーならではの不思議な能力である。でも、たとえPC基板を通して金属に穴を空けたとしても、金属はPC基板に挟まれたままなので、どこにもいつていない。蒸発しても、凝縮してくれば元の本阿弥だ。こういう風に、先に結果を考えてしまい、どうせ穴が空かないだろう・・・で終わり、やってみようとしてもしないのが、先を読みすぎる頭のよい人だ。ところが、そんなことも考えずに、やってみた人がいるから感心する。不思議にも、ちゃんと穴が空くではないか? 教訓ですね。計画を立てるときに、あまり精密に計画を立てないのが肝心で、考えすぎるとだめ、行動あるのみ。これは、先のミルク・クラウンと同じだ。

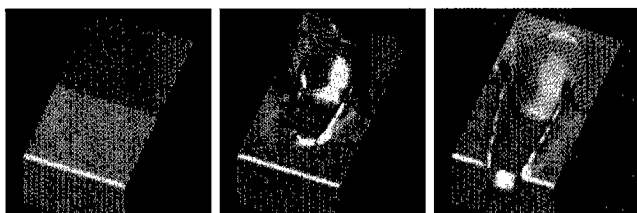


図-8 レーザー光を固体に照射して右上から左下に掃引している。中央には、垂直に蒸気の運動を示した。融解した液は、固体表面上を伝わって流れ落ちる（右図）。

これで万々歳であれば、筆者のところへは何の話もないのだが、ところが、世の中よくしたもので、いろいろやるときれいに空くときと空かないときがある。これをきれいに空けるには、どうしても「なぜ、穴が空くのか？」ということを考えなければならなくなった。現在のところ、このようなシミュレーションができる計算法は実はCIP法だけである。残念ながら、この手法の真髄をご紹介するにはとても紙数が足りないし、専門的にもなるので、知りたい人は、J.Comput.Phys.本年5月号の筆者の解説記事<sup>5)</sup>をご覧ください。

では、DVDバーコードが切断される過程を見てみよう。固体が溶けて液体となり、それが蒸発して気体となるというように、それぞれの物質の境界面が物理現象につれて変化してゆく。この典型的な応用例が、図-8である。図はアクリルブロックに炭酸ガスレーザーを、上から下へと掃引しながら照射している。

これを驚いていただきたいのは、従来は、固体に対しては固体力学の計算法（主に有限要素法）があり、液体に対しては、縮まない流体である非圧縮性流体の近似を用い、気体に対しては圧縮性流体と、それぞれがまったく異なった方程式を用いて解いている。これが、固体、液体、気体と移り変わってゆくから、各物質ごとに異なった方程式を解いていたのでは、これをつなぐことは不可能に近い。しかし、CIP法は全物質を同じ方程式系で解いてしまう。

能書きはこれくらいにして、それでは、DVDの切断はどうなったのであろうか？ 図-9はこのシミュレーション。右半分（青緑の部分）と左半分（青の部分）にそれぞれPC基板、接着剤を置き、中央に500オングストロームのアルミが封入されている。接着剤のさらに左にはPC基板がある（図は計算領域の一部だけしか表示していない）。シミュレーションに接着剤まで入れるところは芸が細かいでしょう。でも、スケールがこんなに小さくなると接着剤といえども、とてつもないサイズになります。時間が経過するにつれて、中央の黒い部分（実は空

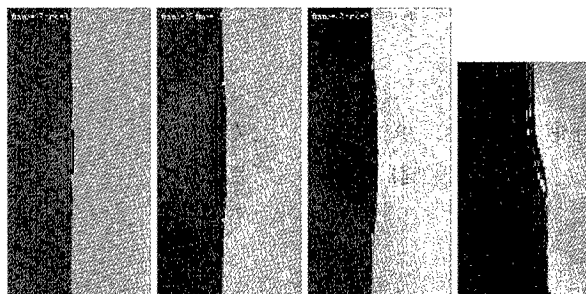


図-9 DVDバーコード加工のシミュレーション。左の3つの図は、時間発展を示す。右図は一部を拡大したもの。各図の右半分はPC基板、左半分は接着剤で、中央に500オングストロームのアルミ薄膜が封入されている。

洞) が広がっている。レーザーは中央部の3分の1くらいの幅で照射している。このレーザーによって照射されたアルミ（赤い部分）は蒸発し、高圧を発生しつつ広がるので、PC基板と接着剤の間の空間が押し広げられる。さらに、レーザー光の当たっていない上下方向に高圧でアルミが吹き飛ばされ、そこで凝縮する。こうして、蒸発したアルミは都合よく外側に堆積してくれる。実際、顕微鏡像では、このシミュレーションと同じサイズの堆積層ができ、周辺部のアルミが厚くなっていることが観察できた。バーコードは紙面に垂直な方向に長い。

## 地球の未来は予測できるか？

1991年6月3日、長崎県の雲仙普賢岳で発生した大規模な火砕流は島原市などを襲い、死者43人を出す大災害となった。火砕流は高温の火山灰や軽石、火山岩などが火口から噴き出し、時速20～100kmという猛烈な勢いで山腹を駆け下りる現象だ。高温の火砕流は周囲の空気を一瞬のうちに暖め、強い上昇気流を引き起こし、この上昇気流が複雑な渦巻きを作る。このため火砕流は途中でキノコ状の噴煙をいくつも巻き上げながら山腹を流れ下る。また、火口付近では熱せられた噴煙が急激に上昇する。

東京大学の小屋口と理化学研究所の石峯らは、筆者が開発したCIP法を使って、1993年6月24日に普賢岳で再び発生した火砕流を再現することに成功した（図-10）。シミュレーションでは、火砕流は次第に加速しながら山腹を流れ下り、発生から1分後に先端が約350m先まで達した。その途中で火砕流と空気との相互作用に伴う不安定な渦巻きが数カ所で発生した。一方、火口付近（火砕流の背後）では猛烈な上昇気流が発生し、高さ数百m以上まで噴煙が立ち昇った。この計算結果は、現地でも同日に



図-10 左は、1993年に発生した雲仙普賢岳、千本木地区を襲った火砕流（撮影：中田節也，日本火山学会提供）。右は、小屋口・石峯によるCIP法を用いたシミュレーション。上から下へと時間が経過している。

撮影された火砕流の写真ときわめてよく似ている。面白いのは、観測・シミュレーションともに二重構造が見られることである。右水平方向に進む流れと、左上方に吹き上がる噴煙が見える。写真を漫然と見ていると「ただ噴煙が上がっている」としか見えないのだが、こうしてシミュレーションでみると、左の方で急激に上昇する噴煙が実は意味があるということが分かる。シミュレーションはこうした目的に最適だ。今まで、重要とは思わなかったことを注目させるという意味では、たとえ実験や観測とはぴたり合わずとも、非常に重要な役割を果たしたといえる。

火砕流は、高温の火山灰（固体）と周囲の空気（気体）が絡み合って起きる複雑な現象で、これまでのシミュレーションでは再現できなかった。一方、CIP法はこうした固体と気体、さらには液体が共存する複雑な現象を再現できる。火砕流の発生前にCIP法を使い、一定量の火山岩が噴出した場合にどの程度の火砕流が起きるかを予測すれば、防災対策づくりが効率化する。また、火山の噴火も同様のメカニズムで起きると考えられており、噴火の規模の予測にも役立つ。火砕流や噴火、長期気象予測などにコンピュータが活躍し始めている。

## 若者よ大志を抱け

以上、いくつかの話題を使って、新しい計算手法について紹介したが、「なんだこんなこともできていなかったのか」ということや、「こんなこともできるようになったのか」という話題が混在していたと思う。これと同じことが、企業や研究の現場からいわれている。いずれ筆者が、研究から引退すれば、そうした未開拓の話題を皆さんにご紹介するのだが、今は飯の種である研究課題を

みなさんにお教えするわけにはゆかない。むしろ、皆さんが積極的に外に出て、いろいろな方と世間話をしつつ情報を集める訓練をした方がよいでしょう。

ここで述べたシミュレーションは、通常の計算手法では、世界最高の計算機を用いてしかやれなかった計算やそれでもできない計算ばかりである。計算手法の工夫で「大規模シミュレーション」がパソコンシミュレーションに変わるといふ醍醐味をぜひ皆さんに経験していただきたい。1980年初めに、筆者はCRAY1というスパコンを使って三次元流体計算を行っていたが、今のノートパソコンはそれを超えており、計算手法は格段の進歩を遂げている。頭を使えばノートパソコンで最先端のシミュレーションがやれるのです。

計算科学では、まだまだやらなければならないことが多数ある。その1つの典型的な例は、初期値がない初期値問題である。天文学もそうだが、気象などでは、観測点が少なく、初期条件として使えるものが計算点よりもはるかに少ない。計算を始めるには、全格子点での初期値が必要だから、こうした欠如した初期値をどう推定するかが天気予報の確度を決める。現在は無理矢理、力づくで決めているが、これをエレガントな手法で出すのが計算科学の醍醐味である。こうした、未解決の多くの問題に、若者だけでなく、これに挑戦する気力のある人が多数必要だ。この仕事は定年を迎えても続けられる。あなたもいかがですか？

### 参考文献

- 1) 矢部 孝: 固体、液体、気体の統一解法を目指すCIP法, ながれ, 15, p.367 (1996).
- 2) 矢部 孝: CIP法—計算力学の超解析法—, 機械の研究, 49, p.83 (1997).
- 3) 矢部 孝: 固体・液体・気体を同時に解くCIP法の最近の進展, 溶接学会誌, Vol.68, No.6, p.14 (1998).
- 4) 矢部 孝: 地球の未来はどこまで予測できるのか: 日経サイエンス7月号, p.58 (2000).
- 5) Yabe, T., Xiao, F. and Utsumi, T.: The Constrained Interpolation Profile (CIP) Method for Multi-Phase Analysis, J. Comput. Phys. (May 2001).

(平成13年5月1日受付)

