

38. 専用機によるイジング系の研究の現状

東大 理 伊藤伸泰

物理学の目的は自然現象の理解である、といっても異議はないでしょう。理解といってもいろいろな段階があり、単一の「理解」はない訳ですが、いずれにしても人間の能力に依存して「理解」は成立します。近年の計算機の発達、人間の能力の一部を著しく増大させました。計算機が未発達であった時代には、計算機は人間の計算を肩代りしてくれる程度にみえました。しかし、現在の計算機は、有史以来のすべての人間が束になってもかなわないほどの処理をこなします。これにともなう、質的に新しい理解が成立したと考えられます。現在、計算能力の最先端にあるのは、ベクトルコンピュータ（通称スーパーコンピュータ）と専用計算機です。ここでは、イジングスピンのモンテカルロ専用計算機（通称イジングマシン）についてレビューします。

I 各マシンの性能・設計の概要

イジングスピンのモンテカルロ専用計算機は、現在までに、サンタバーバラ⁽¹⁾、デルフト⁽²⁾、ベル研⁽³⁾および東京⁽⁴⁾の4つのグループによりつくられた。それぞれ汎用性を保ちつつ高速化し、コストパフォーマンスをあげるために、様々な工夫がされている。各マシンの詳細はここでは触れないが、概要を表1にまとめて示す。（研究会当日は各マシンのアーキテクチャを紹介した。）

	Santa Barbara	Delft	Bell	Tokyo
host computer	VAX 11/780 +AP/120B	HP-1000	VAX-11/750	PC-286
speed	25 Mft/sec*	1.5 Mft/sec	25 Mft/sec	1.8 Mft/sec
乱数	Tausworthe (127, 98)	Tausworthe (127, 112) →9686に変更	Extended Fibonacci (5, 17)	Tausworthe (68, 33)
部品性能 概略	20ns RAM	250ns RAM	25ns RAM PAL, VMEバス	100ns RAM

表1：各地のイジングマシンの概要

*ft(=flip try)/sec は、1秒間にトライできるスピンの数を表わす。

II 各マシンによる研究の概要

これらのマシンにより次の様な研究が行なわれた。

サンタバーバラ：3次元フェロイジングモデルが研究された。finite-size scalingにより、臨界点が $K_c = 0.221650 \pm 0.00005$ と求められ、ハイパースケリングのチェックもなされた^{(5), (6)}。さらに動的臨界指数が $z = 1.99 \pm 0.02$ と計算された⁽⁷⁾。この計算は 10^{14} ftの規模である。

デルフト：計算は 10^{13} ftの規模である。

① 3次元フェロイジングモデルを臨界点で調べた。サンタバーバラのデータは、 24^3 の所が極大点となっていたが、それは誤りである事を指摘した⁽⁸⁾。彼らは、原因は乱数発生アルゴリズムであろうと推測している。

② 2次元正方格子上でX方向にn体相互作用のある系：

$$H = - \sum_{(x,y)} [K_1 S_{x,y} S_{x,y+1} + K_n S_{x,y} S_{x+1,y} \cdots S_{x+n,y}]$$

で、 $n = 3, 4$ の場合を調べた⁽⁹⁾。その結果、 $n = 3$ では、4 state Pottsと同じユニバーサリティ、 $n = 4$ では、1次転移であった。

③ 2次元正方格子で、crossing bondのある系⁽¹⁰⁾。

④ 周期の長い($2^{9686}-1$ の)Tausworth法類似の乱数発生法について⁽¹¹⁾。

ベル：計算は、 10^{14} ftの規模である。このマシンでなされた $\pm J$ イジングスピングラス(12, 13)についてはここで紹介するには及ばないであろう。

東京：我々のマシンm-TISは試作機として製作費最小で作られたものである。構成は簡単ながら、デルフトマシン程度の柔軟性とそれ以上のスピードをもっている。2次元フェロイジングモデルの動的臨界指数を高精度で求めた。結果は、 $z = 2.132 \pm 0.008$ である⁽¹⁴⁾。計算規模は 10^{12} である。

イジングモデル以外の専用計算機：統計力学関係のみ挙げると、セルラオートマトン、分子動力学計算、ランダムレジスタネットワークがある^(15, 16)。

格子ゲージ用に作られているGF11は、巡航速度10 GFLOPSのマシンで、早期に完成すれば世界最強の計算機となるであろう⁽¹⁷⁾。

III 次世代のイジングマシン

I、IIで、これまでに作られたイジングマシンについてみてきた。各マシンでの仕事を見ると、2種類のマシンがあることがわかる。1つは、汎用性よりも高速性をとったサンタバーバラおよびベルマシン。これは、スーパーコンピュータを越えた計算を目指している。このタイプを高速型と呼ぼう。もう1つは、高速性よりも汎用性をとったデルフトおよび東京マシン。これは、様々な系を手軽に調べられる

ようにする事を目指している。このタイプを汎用型と呼ぼう。今後、両方のタイプの物がバランス良く開発される必要がある。

高速型は、扱う問題をしほり構成をその目的に最適化したものである。このため、その問題に限れば最高速のマシンができる。一方、汎用性は余り望めず目的を達した後は役に立たない場合が多いであろう。

汎用型は、大型計算機と同程度の処理能力ではあるが、はるかに安いものである。そのため、一人で独占でき、望む時に望む計算をさせる事ができる。一方、そのマシンでなくては不可能というスケールの計算ではない。

我々はイジングマシンの開発計画を進めている（T I S計画）。この計画では、まず、高速型については 10^9 ft/secのものの開発を目標とする。さらに、多くの研究者が利用できるような汎用型の開発をも目標としている。

IV 結び

専用機作りが最近活発になってきた背景には、半導体技術の進歩がある。大学の研究室では、スーパーコンピュータクラスの技術を導入する事は難しいが、汎用の集積回路を使うだけでもかなりのものが作れるのである。

専用機はイジングモデルに対しては、極めて効果的な研究方法である。しかし、イジングモデル以外の系にでも有効である場合があるであろう。専用計算機による研究はまだ始まったばかりである。

文献

- (1) Pearson, Richardson & Toussaint, J. Comp. Phys. 51 (1983) 241.
- (2) Hoogland, Spaa, Selman & Compagner, J. Comp. Phys. 51 (1983) 250.
- (3) Condon & Ogielski, Rev. Sci. Instrum. 56 (1985) 1691.
- (4) Taiji, Ito & Suzuki, submitted.
- (5) Pearson, Univ. California NSF-ITP-83-62.
- (6) Barber, Pearson, Toussaint & Richardson, Phys. Rev. B32 (1985) 1720
- (7) Pearson, Richardson & Toussaint, Phys. Rev. B31 (1985) 4472
- (8) Hoogland, Compagner & Blote, Physica 132A (1985) 593
- (9) Blote, Compagner, Cornelissen, Hoogland, Mallezie & Vanderzande, Physica 141A (1986) 395
- (10) Blote, Compagner & Hoogland, Physica 141A (1987) 375
- (11) Compagner & Hoogland, J. Comp. Phys. 71 (1987) 391
- (12) Ogielski & Morgenstern, Phys. Rev. Lett. 54 (1985) 928
- (13) Ogielski, Phys. Rev. B32 (1985) 7385
- (14) Ito, Taiji & Suzuki, J. Phys. Soc. Jpn. 56 (1987) 4218
- (15) Hilhorst, Bakker, Bruim, Compagner & Hoogland, J. Stat. Phys. 34 (1984) 987
- (16) Herrmann, Physica 140A (1986) 421
- (17) Beetem, Denneau & Weingarten, J. Stat. Phys. 43 (1986) 1171