



# 光 計 算 機

一 岡 芳 樹\*

計算機は現在、情報化社会の中核的な役割を果たしており、様々の分野で利用されている。しかし、この計算機も我々の日常生活にとって最も重要である画像のような高分解能の2次元データの処理には多大の時間を要している。その原因は現在普及している計算機そのもののアーキテクチャーや演算方式などが大容量2次元データ処理用に向いていないからである。

大容量2次元データの高速処理に対する要求は画像処理、宇宙関連、リモートセンシング、流体力学、プラズマ物理等の研究分野などから特に大きく、この欠点を克服した計算機の出現が強く望まれている。

その解決の一つの方策として、新しいアーキテクチャーや演算原理を採用した、並列演算機能を持つ並列計算機の研究や開発が精力的に行われている。しかし、新しい計算機の開発には、従来の計算機開発の過程で現われなかった新たな問題が生ずることが予想され、実用機の開発は、たとえ、半導体集積回路技術の進歩が、今までと同様に持続するとしてもそう簡単ではない<sup>1)</sup>。

そこで、従来の電子技術の概念にとらわれない全く新しい方向として光の持つ超並列情報処理・伝送能力を利用した新しい計算機—光計算機—の研究・開発が期待されるようになってきた。

ここで光がどの位の並列情報処理・伝達能力を持つかを試算しひみよう。たとえば、分解能100本/mmのレンズで35mmフィルム上の情報を繰返し周期1 $\mu$ sのストロボで照明して結像する

場合を考える。像面上で得られる信号量は毎秒 $35 \times 24 \times 100^2 \times 10^8 \times \approx 10^{13}$ 点である。

計算機の性能評価単位 MFLOPS (Million Floating Operations per Second) に換算すると $10^7$  MFLOPS である。現在開発中の超大型スーパーコンピュータや並列画像処理プロセッサの能力は約 $10^4$  MFLOPS である。この両者の数値からその差は小さいと思われるかもしれないが、上の数値はごくひかえめなものである。空間信号の解像点数の増大は簡単に行えるし、光源のスイッチング速度も現在の技術の利用だけで $10^6$ 位の向上が可能である。従ってその差は $10^7 \sim 10^9$  MFLOPS 位あると考える方が妥当である。このような光による大容量データの超並列・高速情報処理能力を積極的に利用して新しい情報処理機器を作ろうという機運が高まりつつあるのが現状であろう。

ここでは、我々が漠然と抱いている光計算機の基本概念と、それを実現するのに役立つと思われる並列光演算技術について簡単に述べる。

## 2. 並列光計算機と光技術

光計算機は光の物理的性質を有効に生かした並列演算システムである。残念ながら光計算機の研究では言葉のみが先行し、その具体的なイメージや基本的なアーキテクチャーは未だ定かでなく、その行手は濃い霧にとざされている。従って、光計算機の研究では、まずそのアーキテクチャーを構築するところから始めなければならない。ここでは次に示すような機能、役割を持つ光演算システムを光計算機の第一段階の目標であると考えておこう<sup>2)</sup>。

1. 2次元大容量データの並列処理が可能であること。当面の目標値としては、 $1,000 \times 1,000$ のデータ点から成る信号の並列処理ができるこ

\*一岡芳樹 (Yoshiki ICHIOKA), 大阪大学, 工学部応用物理, 助教授, 工学博士, 光計算, 画像処理, 光学

と。

2. 並列演算用のプログラムが可能で、それによって並列データの高速時系列処理ができること。

3. 2次元データの配列を保ったままデータの入出力と並列演算ができること。

4. ある程度の汎用処理が可能で演算精度の低下がないこと。

勿論上のようなシステムの最も重要な応用分野としては高速画像処理が考えられる。

光の持つ超並列情報処理・伝達能力を利用すれば、従来の電子技術のみの利用では実現しえなかった場面での情報処理が可能となる。これらの内で特に光演算関係に有用と思われる特徴を列挙して、光の持つ可能性を提示しておこう。

1. 種々の演算処理、たとえば、デジタル計算に必要な論理演算、数値演算、データ記憶、A/D、D/A変換やデータの入出力などを並列に実行することができる。

2. 並列論理（パターン論理）が実行可能。その結果、今までの計算機設計では使用できなかった演算原理が新たに利用できる。

3. 信号伝送チャンネル間の結合が容易。光の特性を利用すると並列かつ任意可変に論理ゲートやメモリー間の配線が可能で、電子回路のように固定された配線を用いなくてもよい。

4. アナログ、デジタル信号の並列処理が同一の系で可能。また、低分解能、高分解能信号の如何にかかわらず、同一の系で処理することができる。この時、空間伝送路を利用する限り、分解能差による処理時間差はない。

5. 2値論理だけでなく光のアナログ的な性質を用いた多値論理の利用が可能。

6. システム構成時には、時間変数だけでなく、3次元の空間変数、配列、波長などを変数として利用できる所以自由度が上がる。

光計算機開発の成否は上のような特徴や可能性をどのような新しい技術で実現するかに依存している。

### 3. 並列光論理演算法と光計算システム

光が持つ情報処理機能の中で最も基本的かつ

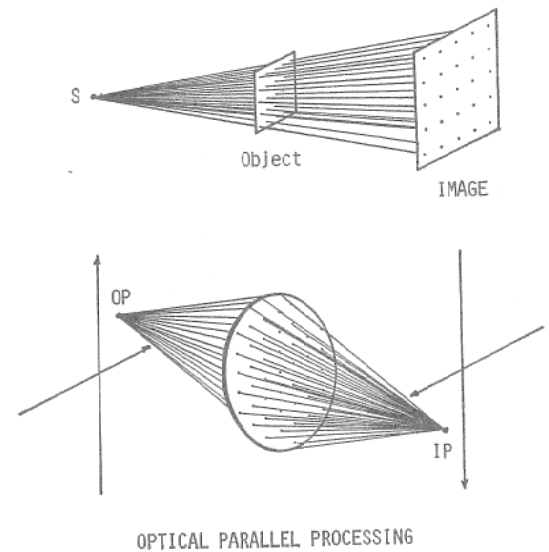


図1 光学系による並列情報処理・伝送

重要なものは2次元相関演算である。2次元相関演算は難しいものではなく、我々が日常生活でさりげなく見かけている光学現象の一つである。たとえば、晴れた日に電線の影が地上に映っているが、これは光源（太陽）と電線の2次元相関像である。このような影とか、レンズによる結像現象などは2次元相関演算の代表例である。図1に示すように情報処理の視点から見ると、これらの現象は無数本の信号経路を用いた並列情報処理・伝送であることに気づく。

最近、我々の研究室ではごく簡単な2次元相関現象—投影法—を利用した並列光論理演算法を考案した。この方法は非常に簡単な投影光学系で実行できるが、将来の並列光計算機の基本演算処理に利用しうる高い可能性を持つ演算法である。図2にその原理図に示す。

入力信号はここでは2枚の2値離散画像を考える。入力像を構成する全ての画素はその値（白または黒）に従って左下に示すような方法で空間的に符号化する。符号化した2枚の画像を重ねて投影光学系の入力面に置く、各画素は対応する画素値の組合わせによって左下の図に示すいずれかの符号化像となっている。

入力像を点光源アレイ（LEDアレイ）で照明するとスクリーン上に光源の発光パターンで特徴づけられるアレイ像と入力像の相関像（重畳した影絵）がえられる。入力像面とスクリー

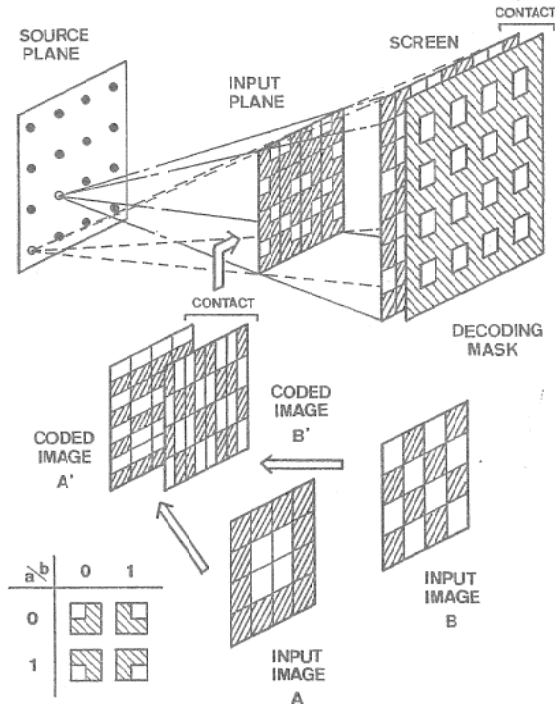


図2 並列光演算法の原理図

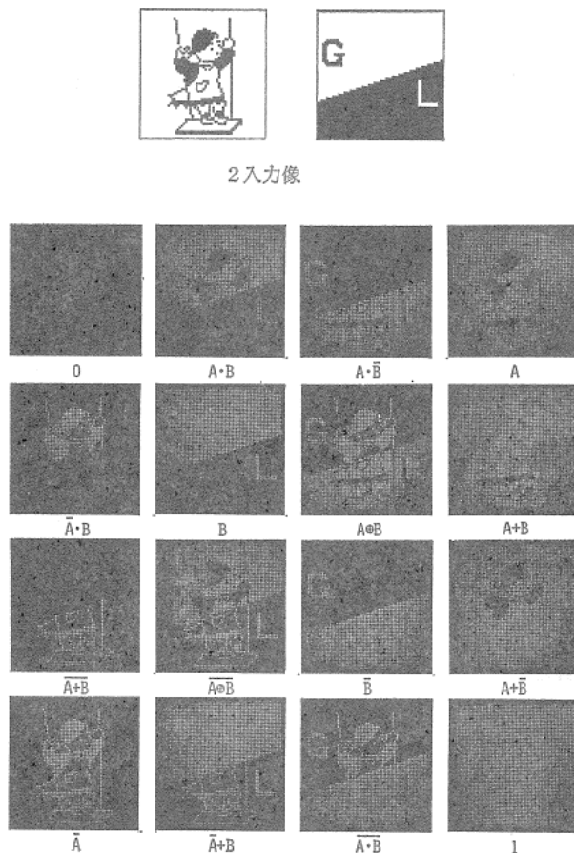


図3 パターン論理演算結果

ン面の距離関係は各点光源による影絵が上下左右に半画素ずれるように調整する。相関像の各画素の中央部のみに着目すると2つの入力画像に対する画素間の論理演算結果が得られる。デコーディングマスクはこの像を観測するのに利用する。

図3は4つのアレイ状の点光源の組合わせで実現できる16種類の光源パターンで照明した相関像を、デコーディングマスクを通して観測したものである。この像は2値2変数に対する16種類全ての並列論理演算結果を示しており、先に述べたパターン論理像となっている。

この方法で特筆すべきことは、系の光源の発光パターンを変えるだけで論理演算、シフト演算、近傍画素間演算、などの計算機構成に必要な2値信号に対する完全な演算系が並列に実現できることである。勿論、同一の系で光源の発光パターンに強度変調をかけると、並列の算術演算や画像処理なども実行できる<sup>9)</sup>。

更に重要なことは、上で示した並列光演算の機能が、最近カスタム ICなどで注目されている2ビットデコーダを用いたロジックアレイの機能と各部で密接な対応関係を示していることである。すなわち、入力像の符号化は2ビットデコーダの機能に、光源パターンはロジックアレイのANDアレイの積項線に対応している。しかも、この対応は入力像の全面素に対して完全並列かつ独立に成立っている。

ここで示した並列光演算法とアレイロジックの概念を利用すると、並列光計算機の基本構成要素となりうる演算ユニットの設計が可能と

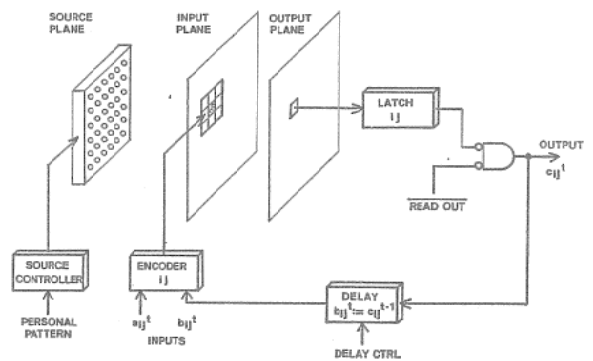


図4 光/デジタル方式で実行する並列光ロジックアレイプロセサの概念図

なる。この演算ユニットを我々は OPALS (Optical Parallel Array Logic System) と名付けており、ハイブリッド方式や光方式でシステム化することが考えられる。

我々は OPALS の第一段階の試作には光/電子複合方式を利用することとしている。図4はこのシステムのプロットを描いたものである<sup>4)</sup>。

OPALS の最も望ましいシステム化の方式は純並列光学方式である。このシステムの実現には高速動作可能な空間光変調素子や動的に変化する光学要素の開発など未踏領域の技術開発が必要であるが、周辺技術の進展状況から判断してその実現はそう遠い将来のものではないと予想している。

#### あとがき

最近、マスコミなどで光コンピュータの名が頻りに取上げられており、実際、この分野の研究會などにも多数の人が参加しているように思われる。しかし、光計算の研究は現在、端緒にすぎたばかりであり、未だその研究の行方さえ定かでない。光計算の分野はその名の華やかさに似あわず、極めて、基礎的で地味な研究分野

である。現在、この分野で最も必要と思われる研究領域は、並列光演算システムのプロットとそのアーキテクチャーの明確化、新しい並列光デバイスや新しい光学要素の開発、光情報処理の新しい視点からの研究、並列演算用アルゴリズムの研究などであろう。今後、光学、情報処理、システム、材料科学などの幅広い分野の人々によって地道に研究が展開されるものと予想されるが、日の目を見るのは恐らく21世紀頃になるであろう。このように光計算機の研究は世界的にみても未だ黎明期にあるが、内外の情勢や周辺技術の動向などから推して日本が世界に先んずることのできる可能性を秘めた魅力ある分野でもある。各分野で活躍中の方々の関心と協力を期待している次第である。

#### 参考文献

- 1) D.H. Schaefer et. al: IEEE Spectrum 19, 32 (1982).
- 2) 一岡芳樹: 計測と制御, 22, 851 (1983).
- 3) J. Tanida and Y. Ichioka: J. Opt. Soc. Am. 73, 800 (1983).
- 4) Y. Ichioka and J. Tanida: Proc. IEEE 72, 787 (1984).

