

# 光情報処理の新展開

一 岡 芳 樹

Abbe の顕微鏡結像論にルーツをもつ光情報処理は長い歴史を有しており、ほぼ一世紀が経過した。1960 年初頭のレーザー光源の実用化に伴い、光情報処理の研究が一斉に開花し、多くの研究者が数多くの分野に挑戦した。第 1 期 (1960, 70 年代) の光情報処理の研究は、フーリエ変換光学系を用いたアナログ光情報処理技術を利用する画像修正、空間周波数フィルタリング、光相関システム、ホログラフィー、合成開口レーダー信号の再生、ホログラムメモリーなどが中心テーマであった。

1980 年代初頭から始まった第 2 期の研究は、それまでのアナログ光情報処理に比べ、処理の自由度をもつ光デジタル処理を用いた光コンピューティングの研究が中心テーマであった。この間、光技術および光エレクトロニクス技術に急速な進展がみられた。新しい材料や光デバイス技術の開発は、光情報処理システムの研究にも進展をもたらした。時系列情報処理を基礎とする電子的デジタル情報処理に適合した光メモリー、光ディスクによる大容量情報のデジタル情報記録、光通信などが実用化技術となった。また、電子技術にない光がもつ情報処理・伝送におけるグローバルな光信号接続と並列処理能力を利用する並列光コンピューターの構成法も提案され、実証システムもいくつか試作された。しかし、半導体集積回路技術の進展に伴う電子計算機の急激な性能向上、低価格化、大衆化、並列アクセス可能な光・電子デバイス技術が未成熟であるなどの理由により、現時点では、実用的な光コンピューターはまだ開発されていない。今まで光情報処理技術が大産業に役立つ成熟した基盤技術となりえなかった理由はさまざまあるが、あえて

ここでは指摘しない。編集委員会からいただいたキーワードは温故知新であり、むしろ、これからの光情報処理の“新展開”に眼を向けたい。

光コンピューティング研究の近未来の目標は、より高性能、高速化をめざすコンピューター内の電子配線によるボード間信号接続遅延を克服する光インターコネクションである。その次にくる光情報処理の第 3 期の研究目標は、疑いもなく並列 (高速) 視覚情報処理や並列情報通信である。21 世紀の高度通信情報社会における視覚情報処理に対する爆発的な需要増大、光をとりまく材料技術、微細加工技術、デバイス作製技術の向上を勘案すると、光のもつユニークな情報処理能力とエレクトロニクスの制御性が融合した光・電子複合型並列コンピューターの開発にその精力が注がれるものと思われる。まさに、光情報処理の出番である。さらに、超高速光エレクトロニクス技術と光並列処理技術が融合した新しい時空間光情報処理も新たなブレイクスルーとなり、広範な応用分野を開拓すると考えられる。以下、光情報処理のもつ潜在能力を必要とする応用分野を概説し、光情報処理技術を開花させるために必要な戦略と心構えについてのべる。

## 1. 光インターコネクションと光・電複合集積素子

近未来の光コンピューティングの目標として、コンピューターのチップ間、ボード間の光接続素子としての利用が注目されている。また、ULSI のチップ内の信号接続に光を利用するというアイディアもある<sup>1)</sup>。光・電子集積素子と並列光バスを組み合わせた三次元構造の光・電子集積素子開発をめざしている。これらは、CGH (computer-generated hologram) の利用を前提とした

大阪大学工学研究科 (〒565 吹田市山田丘 2-1)  
E-mail: ichioka@ap.eng.osaka-u.ac.jp

光情報処理技術の応用である。信号接続のみに光を利用しようとしているが、種々の光情報処理技術や光コンピューティング技術を有効利用した機能性の高い並列光・電子融合情報処理素子の開発が考えられる。これらのデバイス開発には、明らかに光情報処理技術に精通した研究者の参加が必要となる。光接続の最も大きな利点は電子接続におけるRC時定数による信号接続速度の限界を突破することにある。言い換えると、これからの電子システムの性能向上には光接続技術を必要とする。したがって、次世代の情報処理システムや情報通信システムでは、デバイスレベル、システムレベルで光技術が必然的に関与することになる。光情報処理の研究者が大いに活躍すべき分野である。

## 2. 高速（並列）視覚情報処理と光ビジョン

光ビジョンシステムとは、人間にとって最も大切な視覚情報の高速処理や、視覚の高度な機能を発現する並列情報処理システムである<sup>2,3)</sup>。視覚情報処理に必要な高速並列情報獲得、処理、制御、記憶、表示の機能を光の並列情報伝送・処理特性を生かして実現するとともに、人間が行っている記憶、判断、学習、認識などの知的情報処理機能を兼ね備えた新しい並列情報処理システムである。別の言葉でいえば、人間が日常なにげなく行っている実世界の視覚情報処理を支援するための並列情報処理システムである。その利用対象は、人間の視覚機能支援システムとして医療・福祉分野や人間生活工学、知的産業ロボットの視覚などが想定される。光ビジョンシステムでは、人間の視覚が行っている、自然風景のような三次元情報の三次元メモリー(脳)への高速マッピング機能、マッピングされた情報を基にして脳に記憶されているデータベース画像との照合による連想、認識、追記の機能の実現が必要となる。光並列情報技術はこれらの諸機能、特に、三次元情報のマッピング、画像連想、識別、などの機能を発現するのに最も適している技術と考えられる。一方、光ビジョンに必要な視覚機構の解明は、現代科学の大きなターゲットである脳の科学と関連が深く、基礎研究としても魅力あるテーマである。

光ビジョンシステムを実現するためには、光アナログ/デジタル情報処理技術、電子技術、デジタル演算・制御技術、ニューラルネットワークなどの非線形演算技術、光デバイス技術等を融合した総合的な光情報処理技術の確立が必要となる<sup>3)</sup>。光ビジョンシステムは、自律走行自動車や各種知的ロボットの視覚機能、人に優しいマンマシンインターフェースをはじめ広い分野から

のニーズがあり、応用分野も広い。その実現には光情報処理技術が重要な役割を担うものと思われる。

## 3. 並列情報処理・通信

将来の光情報処理の用途として最も必要と思われるのは、高分解能画像を自在に処理・伝送できる新しい並列情報処理・通信パラダイムの主演算装置としての役割である。インターネットで経験するように現在の情報通信パラダイムは、人間がいちばん必要とする画像情報通信に整合していない。

図1に現在の画像情報処理・通信パラダイムと次世代の並列画像情報処理・通信パラダイムを示す<sup>2,4)</sup>。上図は、テレビカメラ、ワークステーションを基本とする現在の画像システムで、テレビカメラで走査入力された信号に対する処理、伝送、表示等はすべて時系列信号処理で行われる。下図は次世代の並列画像処理通信の概念図である。光情報処理系で獲得・処理された空間並列信号は、直接並列受光素子に入力され、完全並列処理される。得られた結果は空間配列を保ったまま、光アレイ通信網で伝送され、並列画像スイッチを介して受信端に並列伝送される。受信端では、入力側と同様、完全並列で作動するプロセッサで伝送信号を処理、表示する。並列演算プロセッサは、光・電子複合型並列システムである。現在のような単一ファイバーでは送信帯域に限界があるので、画素数に見合う光ファイバーアレイを構成しアレイ通信を試みる。新しい並列画像通信網は、

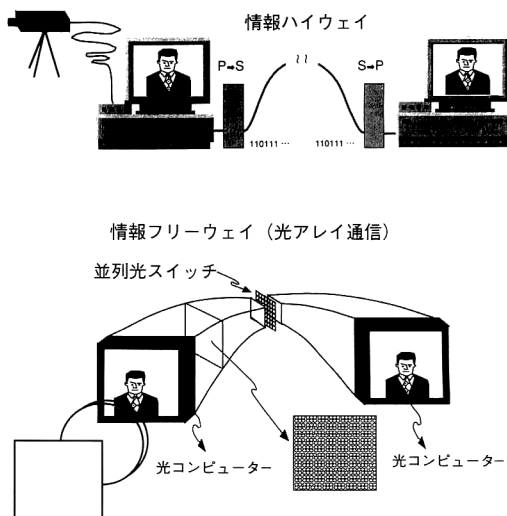


図1 現在の情報処理・通信パラダイム(上)と次世代の並列画像処理・通信パラダイム(下)<sup>2)</sup>。入出力端では並列光情報システムが必要となる。

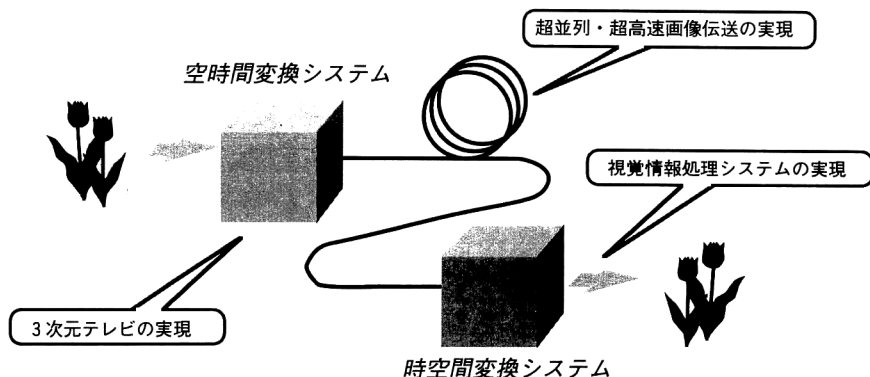


図2 空時間-時空間光情報変換・伝送システムの概念図。

LAN (local area network), 遠隔地からの実時間医療画像情報の伝送, グローバルな双方向実時間画像伝送, 広域監視システム, 危機管理などに特に威力を発揮するものと予想される。並列情報処理部では, 当然, アナログ/デジタル光情報処理が重要な役割を果たす。

#### 4. 時空間光情報処理と三次元画像情報伝送

三次元動画画像信号の高速 (並列) 伝送はテレビ技術界のこれからの開発目標である。将来, ホログラフィックTVで三次元自然動画を扱うとき, データ量は27 GB/s, 必要なMPUの性能は100~500 BIPSと予測されている。このとき, 必要なメインメモリーは16 GB, 通信速度は1/200の帯域圧縮が可能として1 Gbpsが要求される。これに必要な情報システムは現存のものでは対応できない。新しいアーキテクチャーをもつ高性能の並列情報システムと新しい情報伝送インフラが必要である。現在の技術ではクリアできないスペックが並んでいる<sup>9)</sup>。

三次元動画画像情報処理システムの一つの候補として, 超高速パルスレーザーを利用する多次元情報の次元圧縮, 光情報処理, 超広帯域光伝送を組み合わせた新しい時空間光情報処理・伝送システムが考えられる<sup>9)</sup>。図2にその概念図を示す。時空間光情報処理は, 高い空間分解能をもつ空間情報を対象とする光情報処理, 高い時間分解能をもつ電気信号を対象とする超高速エレクトロニクス技術, 光通信技術が融合した次世代情報処理・通信システム構築に必要な基礎技術である。さまざまな技術の進展によりその基礎研究が世紀末になってやっと可能になってきた。現在, 時空間光制御の基礎研究が各所で行われている<sup>7-11)</sup>。時空間光情報処理は, 既存の光学, 光情報処理, 超高速(光)エレクトロニクス, 量子エレク

トロニクス, 光通信, 光デバイス, 非線形光学などの幅広い知識の集約のもとに実現するもので, 新たな光情報工学そのものを創成することでもある。このなかで, 高分解能空間情報の扱いに習熟し, しかも, システム指向で研究を行ってきた光情報処理の研究者が特に重要な役割を果たすことはいうまでもない。時空間光情報伝送は, 現在普及しつつある光通信網やソリトン通信などとの親和性もよく, 前項の並列情報通信網より実現可能性も高く, 早急な研究進展が要請される分野と思われる。

#### 5. 光情報処理の戦略

光情報処理技術を有用かつポピュラーな実用化技術とするためには, 明確なフィロソフィーをもつ戦略と心構えが必要である。これらがなければ, 光情報処理の研究は今までと同じ轍を踏むことになる。

1) 既存の光情報処理システム独自では主情報処理システムとはなりえないことを認識する。必ず, エレクトロニクスとの協調が必要である。光学を習熟した研究者が自ら, エレクトロニクスの良さを評価・習得してシステム設計・製作すること。さらに, 必要なデバイス作製技術, 材料創成技術, 微細加工技術にも関心をもち, できれば自ら, その開発研究にまで立ち入り, 必要なものは自分で開発すること。これは, 筆者の切実な反省でもある。光情報処理を実用化技術にするには好奇心と, 既存の分野の研究者の2倍も3倍もの知識と努力を要する。しかし, その努力は必ず報われると思う。

2) 光情報処理のキーデバイスとなる空間光変調素子や並列光・電子複合デバイスの分解能, 処理速度等の性能向上, 操作容易性の向上, 低価格化による実用化 (たとえば, 秋葉原へいけば手軽に購入できるLCTVと同程度に一般大衆化する)。

3) そのためには、これらのデバイスを利用した光情報処理の実証システムを作製して魅力ある応用を通してデモンストレーションを行い、一般の人にその威力をアピールする。そして、光情報処理が普通名詞となるくらい、シンパや仲間を増やす(昨年夏の本会光コンピューティング研究会では、光コンピューターコンテストのアイデアが出た)。

4) 光情報処理の実用化に必要なデバイスは、最初からVLSIのような高集積化をめざさず、まず、ミニチュア光素子と電子デバイスを複合した複合機能をもつ光・電子デバイスを作製する。形は大きくてもよから光情報処理でなければできない機能、性能を具体的な応用を通じてデモンストレーションする。その後でSBWP(space bandwidth product)を考慮しつつシステム/デバイスのマイクロ化を図る。ULSIが現在の形になるのに30年かかったことを銘記する。液晶ディスプレイの成功は、キーデバイスそのものは極微細集積素子ではないが、その作製技術を有効利用したことによるものであり、その戦略を参考にすることが必要である。

5) ニーズ探索。光情報処理を利用しなければできない有用かつ適正な応用分野をさがす。現在の技術の延長線上で実現可能と思われるものは光情報処理のターゲットとはなりえない。筆者は、光情報処理の研究では、視覚情報を対象とした高速高分解能画像システム、視覚機能支援システム、三次元テレビ、時空間光情報処理・伝送、知的視覚センサーなどを必要とする、社会的意義の高いニーズを探ることが大切だと思っている。

6) 世の中はソフト主導の時代になりつつある。コンピューターシステムの価格の過半はソフト代である。光情報処理もハード主体の発想だけでなく、光学処理のさまざまな特長を生かすソフトを研究開発する必要がある。

7) 光情報処理の研究者はもっと貪欲になり、攻めの姿勢をもつ。新聞の株式欄を見ればわかるように、光工学の背後には大産業はないことを銘記する。つねに、いろいろの分野に関心をもち、他の研究分野に取り込まれる前に攻める。先手必勝。日本では知識や情報の供与に対する評価が低い。かならず、形のあるものに仕上げることも大切。

現在、社会のあらゆる分野で統合と再編が起こっている。センサーフュージョン、ビジョンフューズという言葉に代表されるように、工学の分野、学問の分野、産業でも同様である。このような時代背景からすれば、光情

報処理も孤立化せず、多くの分野と融合していくことを真剣に考える必要がある。本来、求心性よりも発散性の強い性質をもつ光技術が、今までと同じ研究手法だけにたよっている、その自立性が保てないように思う。このような観点から上記7)項は特に大切と思われる。上の戦略を誤らなければ、光情報処理技術は必ず次世代情報システムの重要な基盤技術となるものと思われる。

21世紀の高度情報通信社会で必要となる新しい画像情報処理・通信パラダイムや時空間情報処理システムを構築するために必要なインフラ、並列機能素子、並列画像入力システム、並列表示システム、並列処理システムは現在、ほとんど未開発である。その開発と実用化に必要な新技術は、新しい産業の創成の引き金になるものばかりである。これからの光情報処理の目玉である新しい並列画像情報処理や並列伝送システムは、学問分野をはじめ社会や人間生活に密着した広範な応用分野で期待されており、その早期実現が期待されている。光情報処理の研究進展には、従来の発想にとらわれない、柔軟な思考と理念、攻めの姿勢が必要となる。光情報処理の実利用はこれからである!!

## 文 献

- 1) 林 巖雄：“光と量子の集積化”，応用物理，**65** (1996) 824-831.
- 2) 一岡芳樹：“画像システムの現状と新展開”，応用物理，**65** (1996) 462-472.
- 3) 知的光ビジョン研究会平成6年度活動報告書(1995)，同活動報告書(総集編)(財)大阪科学技術センター，1996).
- 4) Y. Ichioka, T. Iwaki and K. Matsuoka: “Optical information processing and beyond,” Proc. IEEE, **84** (1996) 694-719.
- 5) 南 正名：“ネットワークと社会”，第26回画像工学コンファレンス論文集，9-5 (1995) 155-158.
- 6) 小西 毅，一岡芳樹：“ホログラムを用いた3次元空間情報の時空間変換”，光学連合シンポジウム福岡'96講演予稿集(1996) pp. 79-80.
- 7) Y. T. Mazurenko: “Reconstruction of a nonstationary wave field by holography in a 3-D medium,” Opt. Spectrosc. (USSR), **57** (1984) 567-571.
- 8) A. M. Weiner, J. P. Heritage and J. A. Salehi: “Encoding and decoding of femtosecond pulses,” Opt. Lett., **13** (1988) 300-302.
- 9) Y. T. Mazurenko: “Time-to-space conversion of fast signals by the method of spectral nonlinear optics,” Opt. Commun., **118** (1995) 594-600.
- 10) P. C. Sun, Y. T. Mazurenko, W. S. C. Chang, P. K. L. Yu and Y. Fainman: “All-optical parallel-to-serial conversion by holographic spatial-to-temporal frequency encoding,” Opt. Lett., **20** (1995) 1728-1730.
- 11) 江馬一弘：“時間レンズ：時間と空間のアナロジー”，応用物理，**65** (1996) 817-823.

(1996年12月12日受理)