

## 線形近似からの脱却を目指して



若者

川田善正\*

私は、1992年3月に大阪大学工学部の博士課程を修了し、その年の4月から助手に採用されました。助手になってから一年の間、自分自身の研究を進めると同時に、学生実験や卒業論文の指導を行ってきました。慣れないことが多いので、周りの先生方にご迷惑をおかけし、また自分自身の研究もなかなか思い通りに進めることができず、悪戦苦闘している毎日です。

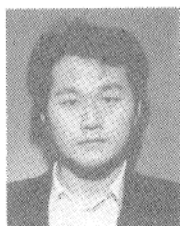
私のように、学生の時と同じ研究室でそのまま助手になるということには、自分自身の研究をつづけるうえでは非常に都合がよく便利なのですが、反面、研究以外の部分ではやりにくいこともいくつかあります。例えば、学生時代と周りの環境があまり変わらないため学生の気分を引きずってしまうことです。学生と助手では立場が大きく異なり、助手になった途端に研究室全体のこと、学科のこと、大学のことを考えなければいけない立場になります。学生の時のように、自分のことだけ、研究のことだけを考えていればよいというわけにはいきません。学生から助手に立場が変わったのだから、それに連れて自分自身の考え方や態度も変えて行かなければならないと思うのですが、なかなか思い通りに自分を変えるのは難しいようです。

一方、研究の面では最近、自分自身(光)によって周りの環境(屈折率分布、吸光度分布など)を変化させ、その環境の変化によって自分自身(光)の状態も変化するという相互作用を持つ現象に興味を持っております。このような現象の一例としましては、私が博士課程で研究

を行なってきましたフォトリフレクティブ効果を挙げるすることができます。フォトリフレクティブ効果は、 $\text{LiNbO}_3$ 、 $\text{Bi}_{12}\text{SiO}_{20}$ 、 $\text{BaTiO}_3$ などの結晶に光を照射したときに、その光の強度分布に応じて、結晶内の屈折率が変化し屈折率分布が形成される現象です。そのような結晶に光を入射すると、まず、光の強度分布に応じて結晶の屈折率が変化します。その屈折率変化により、結晶中を伝播している光の位相がずれ、強度分布が変化し、それに連れて結晶の屈折率分布も変化し、最終的に定常状態に達します。つまり、入射光の強度分布と結晶内の屈折率とがそれぞれお互いに相互作用しながら変化し、定常状態に落ち着くわけです。

通常、このような相互作用は、結晶内に生じる屈折率変化が小さいため、屈折率分布が生じた後も入射光の強度分布は屈折率が変化する前と比べて変化しないとして、無視されます。このような近似は、入射光は結晶内の屈折率分布を形成しますが、その屈折率分布によって入射光自身は影響を受けないことを意味していますので、線形近似に対応すると考えることができます。

しかしながら、最近の微細加工技術の進歩と共に、光の回折限界程度の大きさの物質を光を用いて加工したり、計測、制御することが必要になりつつある現在、このような近似を用いることが難しくなりつつあると思います。例えば、フォトリフレクティブ効果を示す結晶(フォトリフレクティブ結晶)中に光を集光した場合、屈折率分布によって入射光の位相が変化することを無視すれば、集光スポットの大きさは回折理論で決まるエアリーディスクになりますが、実際にはこれからずれていることが予想されます。光の回折限界程度の大きさを対象にする場合には、このずれを無視することはできないか



\*Yoshimasa KAWATA  
1963年8月25日生  
1992年大阪大学大学院工学研究科  
応用物理学専攻課程修了  
現在、大阪大学工学部応用物理学  
科、助手、工学博士、応用光学  
TEL 06-877-5111(内線4662)

らです。私が現在研究しております3次元光メモリにおいてもこの状況は変わりません。

3次元光メモリは、大容量の光メモリを実現することを目的として1年半前から研究を進めているテーマです。この研究では、コンパクトディスクを多層化したような光ピックアップ式のメモリを実現することを目指しています。コンパクトディスクでは基盤の表面上にデータが記録されていますが、3次元光メモリでは、記録媒体の表面だけでなく媒体中にもデータを記録して多層化し、そのデータを読み出します。データを多層に記録することにより、コンパクトディスクに比べて、飛躍的に記録容量を向上させることができます。

3次元光メモリではデータの記録媒体に、光強度に対して非線形に媒体の屈折率や吸光度などが変化する物質を用います。屈折率が変化する材料としてフォトリフラクティブ結晶、フォトポリマーなど、吸光度が変化する材料としてフォトクロミック材料などを用いることができます。これらの物質の内部の一点にレーザー光を集光します。すると、光強度の大きな集光スポット付近でのみ屈折率または吸光度が変化します。記録媒体を走査ステージ上に乗せて3次元的に走査するかまたは、レーザー光を走査して集光スポットを3次元的に走査して一点ずつデータを記録します。

データを再生するには、多層に記録されたデータを層間のクロストークなく読みだせる必要があります。この目的には3次元分解能を有する顕微鏡光学系、つまり位相差顕微鏡光学系、微分干渉顕微鏡光学系、共焦点顕微鏡光学系などを用いることができます。

図1にフォトポリマーをデータの記録媒体に用いて、3次元光メモリのデータの記録・再生を行った実験結果を示します。この実験では、面内50×50ビットのデータを光軸方向に14層記録しました。そのうちの1層目、6層目、14層目のデータを位相差顕微鏡光学系を用いて読み出した結果を図1(a)、(b)、(c)にそれぞれ示します。1層目には“Osaka prefecture”，6層目には“Photo-polymer”，14層目には“Osaka Univ.”と記録しました。面内のデータ間隔は2 $\mu$ m、光軸方向のデータ間隔は15 $\mu$ mです。それぞれ他の層からのクロストークなくデータが読み出せていることがわかります。このときのデータの記録密度は10<sup>10</sup> bit/cm<sup>3</sup>です。

フォトリフラクティブ結晶をデータの記録媒体として用いた研究も同時に進めています。フォトリフラクティブ結晶は書き換えが可能な材料であるので、この材料をデータの記録材料として用いることにより、書き換え可能な3次元光メモリを実現できます。面内20×20ビットのデータを3層光軸方向に記録、再生することに成功しております。この実験では面内のデータ間隔は5 $\mu$ m、光軸方向のデータ間隔は30 $\mu$ mでした。

図1に示した光メモリの実験条件では残念ながら、先述べたような物質と光との相互作用が問題になるような段階にはまだ達していません。というのは、記録の際に記録媒質中にレーザー光を集光することにより生じる収差と再生の際に媒質中を観察するとき生じる収差が大きく、それによってデータの記録密度が決定されてしまうからです。

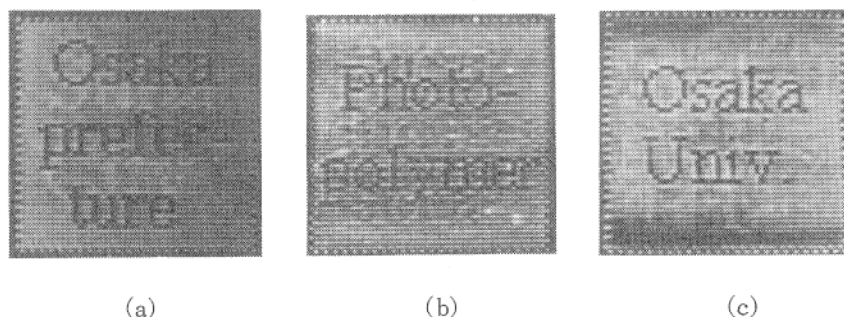


図1 3次元光メモリの記録・再生結果

しかし、収差は光学系を工夫し、改良することにより補正できます。収差を補正すれば、3次元光メモリでの、データの記録密度は、最終的には、光と物質が相互作用しながら形成される屈折率分布の大きさとそれを顕微鏡光学系を用いて読み出したときの結像特性により決定されます。記録密度を求めるには、記録については光と物質が相互作用しながら最終的に到達する定常状態を解析する必要があり、また、再生については層毎に異なる結像特性を解析しなければなりません。記録時の解析には、前に述べたように線形近似を使わず、再生時の解析にも線形近似は不十分だと思います。これまでの結像特性の解析では媒質中に屈折率分布や吸光度分布が存在しても、それらの構造によって光が回折しても試料に入射する光の状態は場所によらず同じという線形近似が用いられてきました。しかし実際にはデータの記録されている媒質中を伝播する間に光は回折されるのでデータの各層に入射する光は同じではなくなるからです。

つまり、光と物質の相互作用と多重回折の問題を解析する必要があります。特に、大きな屈折率変化を生じるフォトポリマーを記録媒質に用いる場合にはこれまでの線形近似は使えなくなると思います。

このような問題は、3次元光メモリに特有なものではなく、例えば最近光の回折限界を越える分解能を持つ顕微鏡として注目されているニアフィールド顕微鏡などでも、エバネッセント場にプローブを挿入することにより場が変化し、その変化した場によってどのような測定結果が得られるかまで含めた解析を行なう必要があるのと同じと言えます。今後はこのような光と周りとの相互作用を含めた解析を進めてみようと思っています。解析結果を自分自身にフィードバックをしながら。

取り留めない文章をここまでお読みくださった方にお礼申し上げます。最後に本稿の執筆を勧めていただいた大阪大学工学部応用物理学科一岡芳樹教授に感謝申し上げます。

