

超電導物質の変遷

超電導物質は、自然あるいは自然の摂理が人類のために用意し、人類自らの手で発見されるまでじっと静かに眠り続けた非常にロマンチックな物質であるといえるかもしれない。超電導物質としてそのまま発見されるものもあれば、合成されて発見されたものもある。発見される確率は、物質により様々であり、未来永劫発見されないものもあるかも知れない。より優れた超電導物質の発見が、半導体等に比べ、我々に与えるインパクトが強い理由は、超電導の状態になれば、電流の流れを妨げる電気抵抗が零になり、またリング状に閉じた超電導物質に一旦電流が流れると永久に流れ続けると言う、無と無限という概念を一挙に具現するものであるからであらう。この世に実存する（有である）物質が、この様な無かつ無限である性質を有すると言う事実が、無限の広がりをもつ捉えどころのない宇宙に対するものとは違った夢のある感情を我々に抱かせるのである。

超電導を時評で取り上げるのは、昨年（一九八七年）初めより新聞、

大 鉢 忠
吉 門 進 三

雑誌、テレビを通じて、茶の間の話題となったこのテーマがどのようなものかをいま一度考えてみようと考えたからである。現在、超電導を示す物質はここで取り上げる以外にも数多くあるが、実用になっているのは極低温の液体ヘリウムを用いる物質のみである。さて、いま話題の液体窒素を用いる物質の実用への可能性はどうなっているのだろうか。

まず超電導現象がどんな性質のものか、歴史的に物質発見がどう発展してきたか。今回のファイバーの元となった酸化物超電導体はいかに世に出たか。発展に当たって何がキーポイントであるかを説明し、現状においてどの程度実用的応用がなされているのか、将来性はと話を進めて行くことにする。

一、超電導現象とは

超電導物質は超電導状態で、(一) 電気抵抗が完全に零である、(二) 弱い磁場に対して完全反磁性である（マイスナー効果と呼ばれ、磁

力線が完全に排斥される)、(三) 二つの超電導体を弱く結合させたときに電圧がなくてもトンネル効果によって電流が流れる量子現象いわゆるジョセフソン効果がみられる等の性質を示す。電気抵抗が完全に零であることを実際に確かめるのは技術的に困難である。物質全体が超電導状態になっていることを確認するには、物質の一部が超電導状態になっても電気抵抗が零であることを示す場合があるため電気抵抗測定を行うよりも、マイスナー効果を調べる必要がある。

超電導物質を冷却してゆくとある温度で電気抵抗が急激に減少し始め、ついには抵抗がなくなってしまう。この温度は臨界温度 T_c (テイシー)と呼ばれ、 T_c を上昇させるため多数の人たちが多大な労力とお金を払ってきた。では何故 T_c を上昇させることが必要なのだろうか。実は物質を冷却するのに、低温であればあるほど冷却設備と維持に経費がかかるからである。従って T_c が室温以上であるのが理想であるが、現在のところ、超電導現象は室温よりずっと低い温度でのみでしか観測されていないのが実状である。

超電導現象の発現機構を調べることは、超電導物質の応用研究や新しい物質の探索に大きな寄与をすると考えられる。現在のところ超伝導状態が発現するためには、二つの電子が対(クーパー)対を作り、お互いに助け合いながら一緒に運動することが必要であることがバーディーン、クーパー、シュリーファーの共同研究によって明らかにされている(BCS理論)。従って、超電導状態では、電荷を担う粒子は見かけ上電子の二倍の大きさの電荷を持っているように振舞う。

二、超電導物質の発見

超電導現象の発見は、今から八〇年程前に、オランダのライデン大学のカマリング・オネスによってなされた。超電導(Superconduction)という言葉は彼が創始したものである。彼は一九〇八年に、最後の永久気体と言われていたヘリウムガスの液化に成功し、液体ヘリウムの沸点が四・二K(Kはケルビン)は絶対温度の単位であり、絶対零度は約摂氏マイナス二七三度、従って四・二Kは約摂氏マイナス二六九度であることを確かめた。その後液体ヘリウムを使っていろいろな物性実験を行った。この意味で彼は低温物理の創始者と見なされている。

カマリング・オネスは、金属の電気抵抗はそれを構成する原子の熱的な振動により生じ、低温ではこの振動がなくなるために電気抵抗が小さくなるのではないかという着想のもとに、液体ヘリウムにいろいろな純度の金属を浸してその電気抵抗を測定していた。そして遂に一九一一年に、高純度水銀の電気抵抗が四・二K以下で急激に零となる超電導現象を発見した。この大発見を行った時の彼の年齢は五八歳であった。その後、インジウムや錫が、水銀よりも低い臨界温度ではあるが、超電導現象を示すことも発見した。そして、一九一三年に、より高温の七・二Kという T_c を鉛において見いだした。鉛よりも水銀で超電導現象が先に発見された理由は、当時水銀の方が高純度のものを得易かったためである。彼の研究は、現代からも非常に卓越した技術と、高い実験精度をもってなされたもので、極低温領域では非常に困難な温度の測定を行っていることと、

そして非常に低い電気抵抗の測定を行っていることから分る。当時
は、零Kというものを全ての原子や分子の運動が止まってしまいう温
度であり、極低温における物性研究からは何も得られる成果はない
と考える人々もいた。従って、低温における物性研究が本当に重要
であるのかと言う疑問を持つものもいたと言われている。一九一三
年に彼はノーベル賞を受賞したのであるが、主たる受賞理由は液体
ヘリウムの生成に対してであり、超電導物質の発見はその他の理由
に過ぎなかったことは興味深い。このことは、当時まだ使いみちが
分からず、ニーズが全くなかったことを考えれば当然のことと言え
るかも知れない。ところでカマリング・オネスは、多くの低温技術
者を育成したほか、前期量子論の発展に力を尽くしたデンマークの
ニールス・ボーアと並んで、物理学のコスモポリタニズムを実践し
た人であり、彼が作った低温研究所は、ドイツやフランスの学者達
にも開放されたと言う。彼はまた、超伝導現象は量子論と深く関係
があることを予感していたそうであるが、彼の予感が正しかったこ
とは、約半世紀後の一九五七年に初めて明らかにされた(BCS理
論)。挿図の肖像画は、筆者の一人が一九七一年にライデン大学を
訪れた折りに、彼が創設した低温研究所で、カメラにおさめたもの
で、彼の甥によって描かれたものである。ライデン大学はオランダ
の最初の大学であり、古典電子論で大きな貢献をしたローレンツを
輩出した大学でもある。ライデン大学は今日でもカマリング・オネ
スの伝統をよく受け継いで低温物理学の一つの世界的な中心となっ
ている。ライデンには江戸時代末期来日したドイツ人医師シーボル
トがオランダ政府に売却したわが国の文化財が保存されている東洋

博物館があり、本学の創立者新島襄も一八七二年にそこを見学した
ことが知られている。

カマリング・オネスは約二十年間、七・二KというTcの最高記録
を保持した。それは超電導物質応用のニーズがなかったことが大き
な理由であろうが、彼が当時得られる全ての金属元素について抵抗
を測定し、他の人々は必然的に化合物あるいは合金に眼を向けなけ
ればならなかったことも大きな理由と考えられる(精製が困難であ
った元素ニオブのTcが鉛より僅かに高いことがカマリング・オネス
の死後、一九三〇年の終りごろ始めて確かめられたのである)。
一九三〇年頃から一九五〇年の前半頃までは数多くの二元系の合金
で超電導現象が確認され、Tcが鉛の約二・五倍の物質も発見され



はじめて超電導物質を発見したカマリング・オネス
の肖像画(ライデン大学低温研究所蔵)

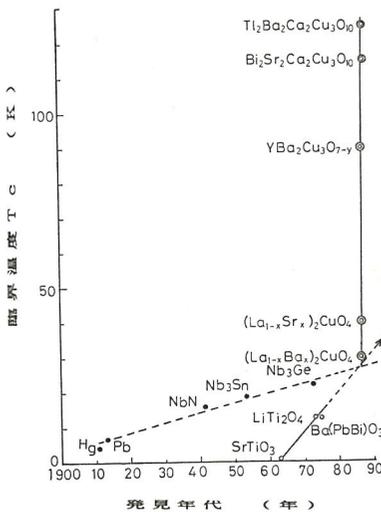
た。その後、米国のマチアスやヒュームにより膨大な種類の遷移金属合金および化合物の中から超電導物質探索が行われ、彼らの結果をもとにしてクンツラーは超電導磁石の開発を行うに至った。この頃、わが国でヘリウム液化装置を持って本格的に低温研究を行っていたのは東北大学金属研究所一カ所だけであった。その後大学、官庁や会社の研究所に設備が設けられ、半世紀遅れの、本格的な低温研究が開始されていた。液化装置が必要と言ったことから研究が制限され、わが国がいかに超電導研究の後進国であったかが良くわかる。その後、徐々に T_c が向上し、一九八〇年までに発見された超電導物質の最高の T_c は Nb_3Ge の二三・四Kであった。

合金および化合物高 T_c 超電導物質探索に蔭りが見え始めていた一九七九年に有機物で一・二Kで超電導現象が超えることが確認され、約五年後に鉛の T_c に匹敵するものが発見された。有機物超電導体が発見されたときは、BCS理論とは異なる励起子機構なるものが提案され、高臨界温度を有する物質の存在が予測され、世間を賑わした。しかし研究が進むにつれこの機構で説明される物質は発見されず、結局のところ、それまで発見されていた有機超電導現象発見メカニズムもBCS理論で説明されることが分かった。そして現在までに T_c の向上は見られなかった。

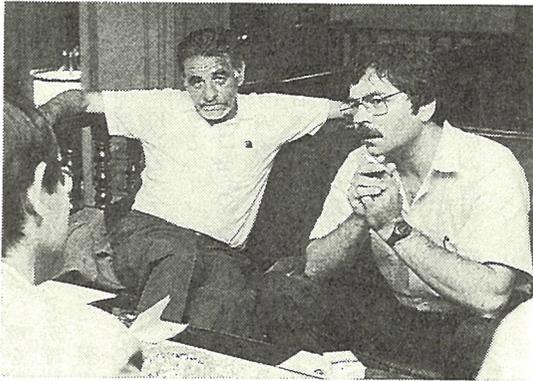
三、酸化物超電導物質の発見

臨界温度 T_c が高くなると、どういう利点が生まれるであろうか。一番大きな利点は、動作温度が高いので、超電導状態を維持するための冷却費が安価になることであろう。例えば液体ヘリウムを沸点

が七七Kの液体窒素に替えれば冷却コストは冷却装置も含めて十分の一以下となる。そして我々も含め、大学や一般企業でも研究ができるようになる。この様に T_c が高くなれば、飛躍的に応用分野が広がり、産業形態や社会生活に著しい変革もたらされるであろう。液体窒素温度以上で利用できる酸化物超電導物質発見の世界的な研究をスタートさせたのは、コンピュータメーカーIBM社のチューリッヒ研究所のミュラーとペドノルツである。二人は一九八七年度のノーベル物理学賞を受賞したが、それ以前の、同年八月京都で開催された低温物理国際会議に参加し、その時の読売新聞のインタビューに筆者の一人が同席させていただいた。インタビューのとき、新物質発見にいたるアイデアを聞く機会を得たのでそれを紹介する。前述した一九一一年の水銀以後一九七三年まで金属間化合物の T_c は徐々に上昇していた。一方、別の物質として酸化物でも



ミュラー博士の着目した、金属間化合物の T_c (点線)と酸化物の T_c (実線)の変遷の様子。最近の新物質も同時に示してある。



インタビューに答える高温超電導酸化物の最初の発見者ベドノルツ博士(右)とミュラー博士(左)〔読売新聞提供〕

従来絶縁物の強誘電体として知られていたチタン酸ストロンチウムが還元によって電気伝導が生じ約〇・三Kで超電導状態になることが一九六四年に発見され、高T_c酸化物超電導物質発見研究の種が蒔かれた。九年後の一九七三年にカリフォルニア大学サンディエゴ校のジョンストンはLiTi₂O₄や一三・七Kそして一九七五年にデュボン研究所のスレートがBaPb_{1-x}Bi_xO₃で一三KのT_cの物質を発見した。両者ともT_cの世界記録を追い越した訳ではなかったが、ミュラーはT_cが年々いかに高くなっていくかを図にしてみ、酸化物を研究する方針が立ったそうである。彼はT_cの上昇率を金属間化合物と酸化物と比較すると酸化物のT_cの上昇が急であったことから、酸化物のT_cが金属間化合物のT_cを追い抜くであろうことを予測した。この予想をもとにニッケルと銅の酸化物で高温超電導体の可能性を調べるべく組

成を連続的に変化させて電気抵抗測定の研究を続け、銅を含むある組成で電気抵抗が急に減少するものを見つけたことができたのである。この大発見がわずか二人の研究チームによって行われたのである。写真に示すミュラーは当時六〇歳ベドノルツは二三歳年下で、親子のような信頼関係で結ばれたチームワークと二人の科学者としての謙虚さを話しながら感じた。そして素晴らしい二人の人間性が、今回の発見に巡り会うチャンスを作ったように思われた。

彼らは一九八六年四月一七日に、控え目な題目で新しい酸化物超電導体を発見したのではないかと言う報告を行った。そして、同年九月にこの雑誌が出版され、すこし後に世界の科学者の眼に触れることとなった。当初彼らの結果は(彼ら自身もインタビューで語ったように)疑問視されたむきもあったが、彼らの追試を行った田中(当時東大教授)等は同年一月一日ミュラーとベドノルツが発見したのはまさしく新超電導物質であることを超電導研究のメッカである米国に知らせた。その後数カ月の間で、田中等をはじめとするわが国の超電導研究者達や、米国や他の国の研究者達によりオールナイトフィーバーで追試および新たな超電導物質探索が行われた。(La_{1-x}Str_x)CuO₄で代表されるT_cが最高約四〇Kのランタン系の酸化物超電導物質の発見に始まって、高T_c酸化物超電導物質探索が進み、そして一九八七年二月一六日に米国アラバマ大学のウーおよびヒューストン大学のチュウに率いられた実験家のチームが、YBa₂Cu₃O_{7-y}で代表されるT_cが最高約九〇Kのイットリウム系の超電導物質を発見したというセンセーショナルな話が伝えられた。それはT_cが液体窒素の沸点七七Kより上であったからである。彼等は当初

組成を明らかにしなかつたので、噂を頼りに他の人々が追試した結果、彼等の発見は真実であることが確認され、いよいよ世界は高T_c酸化物超電導の時代へと突入した。翌年一九八八年の一月に金属材料技術研究所の前田等によりBi₂Sr₂Ca₂Cu₃O₁₀で代表されるT_cが約最高一一五Kのビスマス系が、続いて二月に米国のアーカンソー大学のシェンクとハーマン、三月にIBMアルマデン研究所のグラント等によりTl₂Ba₂Cu₂Cu₃O₁₀等で代表されるT_cが最高約一二五Kのタリウム系が発見され、T_c向上に長足の進歩がもたらされた。そして今日でもなおフィーバー冷めやらぬ状態である。

酸化物超電導体の超電導現象発現メカニズムは現在の所分かつていない。酸化物超電導体においても電子がクーパー対を作ることが磁束の量子化単位の測定やジョセフソン効果の研究より確かめられているが、BCS理論で予測される以上の臨界温度が得られており、クーパー対形成の他のメカニズムが探索されているのが現状である。

四、超電導現象の応用と臨界温度

超電導現象の応用は数多く考えられている。微小電流を用いる分野では、ジョセフソン素子を用いたSQUID（超電導量子干渉素子）極微小磁束計、赤外線センサー、超高速コンピュータ用の高速スイッチング素子等がある。また一九七〇年代中期以降、電気磁気量を計測する計測器の校正の標準となっている電圧標準にジョセフソン素子が用いられている。現在液体窒素温度で動作する酸化物超電導体によるSQUIDが試作されている。SQUIDを液体窒素

温度で動作させれば使用コストは低くなるが、液体ヘリウムで冷却されたときよりも熱雑音が大きくなり、精度が一桁悪くなるといわれている。高速スイッチング素子として、ジョセフソン素子の他に、一九八三年にIBM社によって発表されたクイトロンのはじめとする超電導トランジスタも期待されている。この応用が新しい酸化物超電導体で実用化されるには薄膜状結晶が必要で、薄膜結晶成長法も提案されており、単結晶体と同様の特性のものが得られている。しかし、電極付けや接合作り等の研究の必要などころが多く液体窒素温度での利用にはまだ時間が必要と思われる。

大電流を用いる応用として、強力な磁場を発生できる超電導磁石が作られ、高分解能NMR（核磁気共鳴装置、磁気共鳴診断装置MRI）、シンクロトロン、超大型プロトン加速器SSC、超々LSIリングラファイ用光源の小型SOR（シンクロトロン放射光装置等への応用が実際に行われているが、そこに用いられている超電導コイルにはNb₃Sn等の金属間化合物の超電導材料が用いられている。さらに社会生活や産業分野への応用として、高速・低騒音の超電導磁気浮上式リニアモーター電車や超電導推進船等の交通機関、超電導発電機による高効率発電、超電導送電線による大電力送電、超電導電動機等の高効率動力源等が試作され、実用化への研究が続けられている。

これらの大電流への応用に新しい酸化物超電導物質が用いられるためには超電導線を作る必要があるが、それらの超電導線への加工には、大きな問題点が三つある。

(一) 従来の超電導線に匹敵する大きな電流（一平方センチ当たり十万

アンペアから百万アンペア)をまだ流すことができない。さらに強い磁界中では超電導状態を維持することができないので、超高磁界を発生する実用的な超電導コイルを作ることができない。

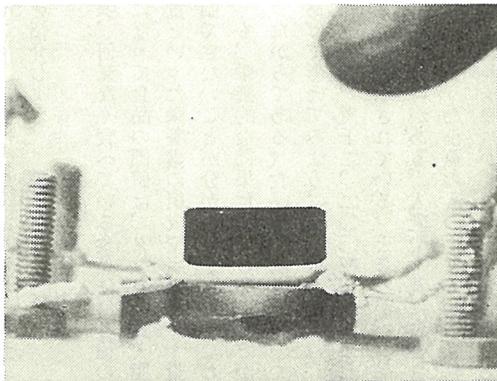
(二) 酸化物特有の脆さがあり、細く線引きして比較的しなやかなものができるが、はたして長期間使用できる耐久性を有するか否か不明である。

(三) 熱収縮率が小さいために、超電導線の部分と終端部との整合が困難であり、温度を低下させて超電導状態にしたときに、大きな熱応力が発生し、大きな電流が流せなくなる。これらの問題が将来解決されるかどうか現在の所不明であるが、大切なところである。

もし T_c が常温以上になれば、前記の大電流を用いる応用例は大電流、高磁束密度化により飛躍的な発展を見せるであろう。また生活領域に永久磁石に代わるものとしてリングに永久電流が流れる強度が自由自在に変化できる小型超電導磁石等も現れるであろう。このような生活の変化に問題点もないわけではないと思われる。その一つとして磁力線の氾濫が挙げられ、人体への高磁界の影響ははつきりとは解明されておらず、公害問題に発展する可能性もある。

五、我々の超電導物質研究

我々の超電導物質の研究にふれておこう。同志社には、超電導を専門にする研究グループはないと思われるが、筆者等の専門が電気材料であり、超電導を電気材料の一テーマとして捉えて、研究室の水準の向上を目的として研究を開始した。イットリウム系超電導体が報告された約二ヵ月後のことであった。そして二週間後の四月の終わりに最初の酸化物超電導物質を焼き上げた。多結晶酸化物超電



筆者らの研究室で焼成したイットリウム系酸化物超電導体(下側の4本の針金で固定されているもの)。液体窒素で冷却後空気中へ取り出し、その上にフェライト磁石を置くとマイスナー効果で磁石が浮上し、超電導状態が確認された。

導物質の製法が日常使用されている陶器や磁器と同じものであり、この焼き上げたと言う表現は、まさにぴったりである。写真は、最初に焼き上げた超電導物質を使用してマイスナー効果により超電導物質の上に永久磁石を浮かべた、いわゆる浮き磁石を撮影したものである。

時評を終えるにあたって、現時点で我々に、目まぐるしい変貌をとげる超電導物質研究の将来性について、何も言えることはないように思う。ただ多くの研究者が各人の個性的な手法によって人類の夢を実現させる仕事をするのがやはり重要ではないかと思う。

機能性食品

— 誕生の背景と食品の機能 —

木 咲 弘

「機能性食品と呼ばれる食品が話題になっている。高血圧を予防したり、コレステロールを抑えたりする働きをもつ食品のことで、厚生省が表示基準作りに乗り出したのに続いて、農林水産省も食品メーカーなどを組織してその開発を後押ししはじめ、一、二年後には登場することになりそうだ。」と新聞に報道された。(昭和六十三年五月二十八日読売朝刊)

現在、病気を予防したり、からだの調子を整えたりする働き(機能)をもつ、食品の研究が盛んに進められている。毎日食べることで、糖尿病、高血圧症、心臓疾患などの予防、治療食として効果を発揮できるような食品である。

機能性食品という言葉が用いられるようになったのはごく最近のこと。二十一世紀の食品とよばれるこの夢の食品が、まもなく実現するといわれているが、テレビや新聞、雑誌で報道されているわりには、馴染が少なく、その意義も十分に理解されていないと思われる。

る。そこで、機能性食品の注目されるに至った背景や食品の機能の一端を紹介しよう。

日頃、何気なく食べている食品には各種の成分が含まれている。最近になって食品の価値は、タンパク質・脂質・無機質・ビタミンの含量といった栄養素の組成やエネルギー量のような分析値だけでは評価できないことが分かってきた。すなわち、食品の分析値が等しくても、栄養的な効果に違いのあることが数多く認められるようになったからである。食品の無機成分の一つである、カルシウムを例にあげて考えてみよう。食品成分表には、牛乳一〇〇 mg 、しらす干し五三〇 mg 、煮干二、二〇〇 mg 、人乳三七 mg (いずれも可食部一〇〇 g 中)と示されている。ところが、食品の種類によりカルシウムの吸収は違いがある。人乳や牛乳に含まれているカルシウムは、しらす干のような小魚のものよりも利用されやすい。この理由は、ミルクのカルシウムが、タンパク質と結合しているの、腸管内で

タンパク質が消化されたとき吸収されやすい形になるからである。この例のように食品中の栄養素は、その量と質だけでなく、食品中の含有形態、吸収の難易度、同時に摂取する食品の組合せなどによって栄養的効果に違いがある。

現代は飽食の時代ともいわれている。生活に経済的なゆとりができてくると、食糧不足の時代と違って、栄養素の単なる量的供給ということよりも、食を楽しむ風潮が強く現われてくる。とくに、昨今のようなグルメブームになってくると、食品に対する価値基準が変わってくる。栄養の面よりも、おいしさのような嗜好の面で食品を評価するようになってくる。

一般に、所得が増えると動物性食品や油脂類の摂取量が増えてくる傾向がある。肉類はタンパク質のほか脂質を含み、しかも、その脂質には、飽和脂肪酸含量が多いので、脂身の多い肉を沢山食べ過ぎると健康上好ましくない現象が現われてくる。こうなると、食品の評価法も変えなくてはならない。

従来、食品は栄養と嗜好の面から評価されてきた。食品の評価を、身体に対する働きでみると、第一は、食品に含まれる栄養素の、体内での生命維持にかかわる栄養機能である。栄養素の中でも必須栄養素が不足すると、その欠乏症を起こし、病気の原因となる。これら栄養素の供給は病気の予防効果をはたす。第二は、食品の色・香り・味・テクスチャーなどにもつく感覚機能である。感覚機能は、栄養素を含む食品の選択と識別、食欲の増進と抑制、消化液の分泌の調節作用などにかかわってくる。ところが、食品には栄養素

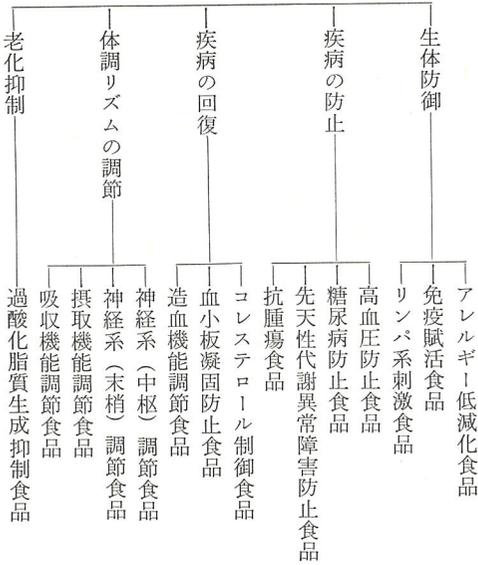
や嗜好成分とは別の生理特性として第三の機能のあることが認められてきた。

たとえば、赤ちゃんはミルクを飲んだあとスヤスヤと良く眠る。これは、牛乳のタンパク質の中に、モルヒネと同じように神経を鎮める働きをもつ、オピオイドペプチドが含まれているからである。ミルクには、そのほかにも、いろいろの機能がある。カゼインの消化によって生成するリン酸ペプチドは、カルシウムの吸収を促進する働きがあり、このペプチドは培養骨細胞の培地に添加することによって、骨の石灰化を促進する。また、ミルクには細胞成長因子も含まれている。ミルクは、哺乳動物の乳児の唯一の食べものであり、栄養的にみて完全な食品であるが、栄養源としてだけではなく、生体の維持に関係がある大切な機能を持つことが次第に明らかになっている。

さて、機能性食品という言葉が用いられるようになったのは、文部省助成の特定研究「食品機能の系統的解析と展開」(昭和五十九～六十一年)からである。この研究では、生体の調節との関連から、広範囲な食品の機能の解析、機能性食品の設計などに関する研究を行っている。この中でも、機能性食品がとくに脚光を浴びるようになった。それは、厚生省が、昨年度、機能性食品を取り上げ、本年度より、その製造を許可制とすることを前提に、専門家による委員会を設け、その表示基準作りを始めたからである。

厚生省が、機能性食品を取り上げるようになった背景には、次のようなことがある。一つには、わが国が、世界でもトップクラスの

長寿国となり、高齢者の増加にもなつて、病氣を持つてゐる人の割合が増えたこと。二つには、わが国經濟の急成長により食糧が豊かになり、過食と栄養摂取の偏りにともなつて、糖尿病、高血圧症、心臓疾患などの成人病が増加したことである。このために健康保險の財政が苦しくなつてきたので、医療費の急増を食い止めるため、有用な機能を持った食品を用いて、病氣の予防あるいは回復をはかることを提案したからである。そのほか、健康食品の問題があげられる。健康食品は、それなりに有用で、これまで社会に受け入れられてはきたが、あいまいなものも含まれている。これに対する行政指導の見直しを行うものと考えられる。



厚生省の考へてゐる機能性食品は、機能別に分類すると、上の図のようになる。

図に示した食品のうち、先天性代謝異常障害防止食品の中には、現在、治療食として実用化されているものがある。先天性代謝異常には、糖質・アミノ酸・有機酸などの代謝異常が知られているが、アミノ酸の一種、フェニルアラニンの代謝異常によるフェニルケトン尿症もその一例である。かなり以前から、フェニルケトン尿症の子供に低フェニルアラニン食を与えて、脳の發育障害を抑制している。それは、代謝異常を起すフェニルアラニンを除いたアミノ酸混合物からできた特殊なミルクであるが、このようなミルクは、先天性代謝異常障害防止に有効な、機能性食品といふことができる。

次に、図に示した生体防御について考へてみよう。生体防御の代表は免疫系を調節する機能である。免疫力が弱まるとガンになり、いろいろな感染症にかかったりする。健康を維持するためには免疫力を高めなければならないし、逆に、アレルギーのような好ましくない免疫反応は下げてやる必要がある。

ところで、マツタケやシイタケのようなキノコ類の熱水抽出エキスには、抗腫瘍性のあることが認められている。シイタケの抗腫瘍因子は、レンチナンと呼ばれ、ブドウ糖がβ結合した難消化性の多糖類で、ガン細胞に直接影響を与えないが、これが免疫系を活性化して抗腫瘍性を示す。

木材に含まれているリグニンという難消化性の成分がある。リグニンは、植物細胞の接着に關与するポリフェノール重合体で、免疫系を活性化して抗腫瘍性を示す。リグニンは野菜類にはほとんど含

まれていない。しかし、野菜類を切ると、切り口で、リグニンが合成されてくる。たとえば、ダイコンの細切したものには、リグニンは、少量しか含まれていないが、一日おいておくと乾物重量の約一、二%にもなる。学校給食や工場などの給食施設では、前日の午後、次の日の昼食の準備をするのが通例である。キンピラゴボウに用いるゴボウのササガキはもとより、コロッケやエビフライにそえるキャベツの千切りも例外ではない。また、近頃、スーパーマーケットで細かく切ったキャベツやニンジン、キュウリなどのパックに入ったカット野菜の人氣が上昇しているという。野菜類は新鮮さが身上で、前もって切っておくのは、ビタミンCが破壊するなどの栄養面、また、衛生面やおいしさの点からも良くないと思えるが、リグニンの点からみるとケガの功名であろうか。

それはさておき、レンチナンやリグニンのような難消化性の高分子化合物が、腸管から吸収されて体内に取りこまれるのだろうか。いくら有効成分が含まれていても、体内に取りこまれないければその機能を果さない。今までの生理学では消化管内のタンパク質やデンプンは、それらを構成するアミノ酸やブドウ糖に消化されたのち吸収されるとされていた。ところが、タンパク質やデンプンはある程度加水分解されると、体内に取り込まれることが分かってきた。また、セルロースのような消化されないもの、あるいは酵母や炭素粒子などの微細粒子でさえも、効率はやや低いが腸から取りこまれることが認められているのでキャベツやダイコンのリグニンも吸収されるのでないかと推察できる。また、レンチナンやリグニンに生体防御機能のあることがはっきりすれば、それらを吸収しやすい形にし

た機能性食品の開発が期待される。

人間誰しも、健康で長寿を願わぬ者はない。古来から不老長寿の薬を待ち望んでいたが、いったい老化とはどのような仕組みで起るのだろうか。その一つに、生体の老化は体内の脂質の酸化と関係があるといわれている。また、脂質の酸化変敗した食品の摂取は健康に良くないのは周知のことである。

油脂を含んだ食品や油脂は、空気に触れるとまず、不飽和脂肪酸の部で酸素を吸収して酸化される。不飽和脂肪酸が酸素を吸収するとラジカルを生成し、次いで、このラジカルが連鎖的に不飽和脂肪酸の酸化反応を引き起こして食品が変質する。

話は変わるが、甘さをおさえたケーキやクッキー作りがはやっていいる。クッキーを作るときに、砂糖の使用割合を減らさなければ、かなりの長い期間、クッキーはおいしい状態で保てる。しかし、砂糖を減らして焼成すると、焼色が淡く、風味が劣り、しかも日持ちの悪いものとなる。砂糖が充分あると、焼成のときに、小麦粉のアミノ酸と砂糖とが褐変反応を起こし、特有の色と香りができて、味も良く、保存にも耐える。クッキーの日持ちが良いのは、この褐変反応生成物の中に、脂質の酸化変敗を防ぐ働きをする抗酸化性の化合物があるからである。

また、バターやマーガリンのような油脂食品の場合には抗酸化剤を添加して、その品質の安定化をはかっている。一方、穀物や生鮮食品などに含まれる脂質は酸化をうけにくい仕組みになっている。たとえば、玄米を精白して保存すると、日とともに臭いが悪くなり、

味がおちてくる。玄米の表面を削って生体の組織を壊したために、今まで玄米の中に含まれていた生体の調節(防御)機能が壊れて、リノール酸のような不飽和脂肪酸が、酸化されてアルデヒドやケトンのような不快な臭いをもつ成分に分解されるからである。

生体の老化の学説にフリーラジカル説(活性酸素説)がある。生体の中でも不飽和脂肪酸の酸化でラジカルが生成し、このラジカルが、連続的に細胞や組織をおかすために生体は老化すると考えられている。しかし、生体の中には防御機構があり、この防御機構がうまく働いている間は、生命の正常な状態が維持できるのである。生体のラジカルからの防御手段には、トコフェロール、ビタミンC、カロチンなどのラジカル消去剤や、カタラーゼ、ペルオキシターゼなどの活性酸素消去酵素がある。これらの防御機構から逃れたラジカルが、生体に障害を与え、その蓄積が老化につながる。このようなことから、老化は、食事と関連して生成するラジカルによる細胞の損傷を減らすことで抑制できるはずで、ラジカル消去に働くトコフェロールやビタミンC、あるいは食品添加物である抗酸化剤も老化防止に有効に働くと考えられている。

機能性食品が取り上げられるようになって、まだ日が浅く、十分な検討はなされていない点が多い。機能性食品は概念であり、実在の食品ではない。と言いつける学者もある。しかし、治療食の中には、さきに述べたフェニルケトン尿症用の特殊なミルクのように、機能性食品にあたるものがすでに実用化されている。

胚芽油は、健康食品として市販されている。これは、さきに示し

た脂質の酸化を抑える働きのあるトコフェロールを含む健康食品である。しかし、この効用は明記されていないし、どの程度飲用すれば良いかもあいまいである。それは、薬事法や栄養改善法などの制約を受けて、表示が充分にできないためである。また、一般に健康食品は、その規格基準、取り扱いかななどの法規が明確に整備されていないためでもある。もう一つは、健康食品の機能的効果が充分に証明されていないためとも考えられる。今後の研究によって、健康食品の相当数のものが、機能性食品として取扱われるようになるであろう。

現在、機能性食品について、大学などの公共機関での基礎研究が盛んに行われ、食品や医療業界の動きは活発である。また、厚生省では具体的な表示基準の作成を行いつつある。機能性食品を警戒する声もあるが、今後、十分な検討が行われ、人体に有用な機能をもった、健康と長寿に役立つ夢の食品が、登場する日が待ち望まれる。

〈参考文献〉

- 稲葉 博・臨床栄養 72, 455(1988) フードケミカル 1988-1, 33 岩井和夫・化学と生物 25, 392(1988) 奥 恒行・臨床栄養 72, 461(1988) 千葉英夫・フードケミカル 1988-1, 27 福山忠男・食品と科学 30(1), 89(1988) 松下雪郎・化学と生物 25, 336(1988) 村上浩紀・臨床栄養 72, 475(1988) 吉川正明・千葉英夫・臨床栄養 72, 467(1988) 千葉英夫・吉川正明・化学と生物 25, 396(1988) 村上浩紀・大村浩久・化学と生物 25, 268(1988)

(女子家政学部教授)