

# 情報伝播の数学モデル

渡邊 正\* 戎 健男\*\*

「情報」が発信・伝送・受信される一連の仕組みについて、まず数学モデルとして一般的に議論する。情報は「多次元情報空間」の中のベクトルとして捉えることができる。現実には同一の情報に接してもその受け留め方は人様々であるから、受け手ごとに情報空間の中で個々の「感受性関数」をもつと想定される。情報には分野別・専門性の有無等々の属性があるが、どの情報に鋭敏に反応し受容するかは、感受性関数で定義される「閾値」の高低に依存することを指摘する。次いで、人間社会における情報の伝播、特に受容について概観する。社会における人の情報空間、感受性関数をどのように構成したらよいかが課題となる。さらに、物理分野における具体例として物質の「相転移現象」をモデル化した感受性関数を提示する。ここでは、「情報」の属性として「磁界」と「エネルギー」の2種類があることを指摘する。後者の場合、運ばれるエネルギー（情報）は進む路程にしたがって退化し、その到達距離にも限界があること、受容の可否は2つの要因（情報の伝送距離の長短と受け手が個々にもつ感受性関数の閾値）で一義的に決定されることを明らかにする。最後に本モデルに残された課題等に触れる。

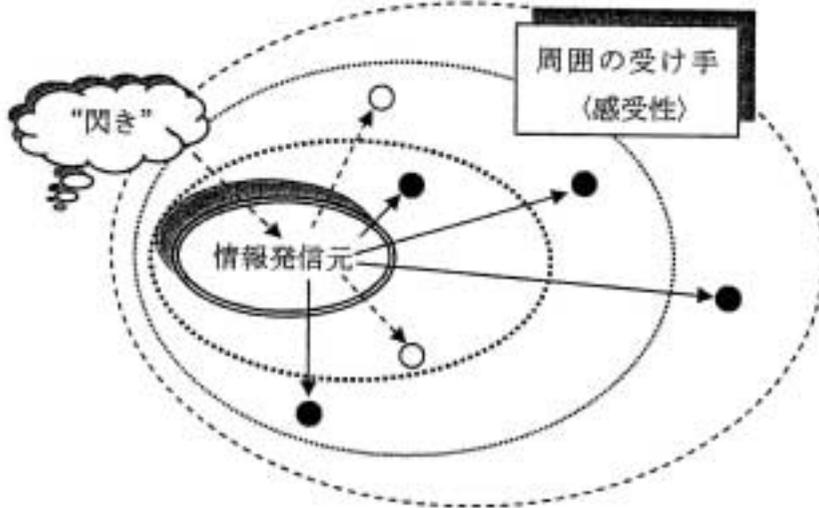
## §1 はじめに

頭脳にふと浮かんだ斬新な閃き・既存の概念をいくつか融合抽象化することによって形成された新しいイメージそれらを他者に伝える、あるいは他から受け取った内容を何ら加工することなく単に右から左へ流す場合等に「情報」の伝播が発生する。

「情報」の発信・伝送・受信の一連の動きは、情報の発信元が何者かから刺激を受け、それによって生じた内容を情報として周囲の社会（集団）に発信することから始まる。情報には様々な属性が伴っている。分野の違い、日々の暮らしの中の一過性の内容か否か、専門性の度合いの程度等々である。属性をもたせて規定するために「多次元情報空間」を想定し、その中の多次元ベクトルとして「情報」を特徴づける。情報ベクトルは、我々の現実空間の中を何らかの方法で伝送される。伝送距離が伸びれば、情報は磨耗退化しやがては消滅する。その振る舞いも考慮されなくてはならない。また、情報が等しい強さ・同一の内容であっても皆が一律に感化される（受容する）わけではない。受け手が異なれば受け留め方は千差万別である。「多次元情報空間」の中で、受け手は個々に異なる「感受性関数 $\phi$ 」をもっている。感受性の差異は一人一人の価値観・生き方を背景にしている。ある方面に関心が高く感性が研ぎ澄まされている人は、その方面では「閾値」が低く鋭敏に感応する。そうでない人はその方面には鈍い替わりに他で閾値が低くなっているであろう。本稿で扱う情報伝播の概念図を図1-1に示す。

図1-1：情報伝播の概念図

「閃き」を得た人は「情報」を社会に発信する。周囲の受け手は、発信元からの距離に応じて、また己の感受性に応じて感化する。●印は感化した受け手、○印は感化しない受け手を表す。



次節「数学的構造」では、情報の発信・伝送・受信の仕組みを数学的に如何に記述するか、一般的枠組みとして提示する。§3の「社会的情報伝播」では、特に社会生活における「様々な情報」がどのようなカテゴリーをもっているのか、それらを3つのメディア（全国紙・用語年鑑・インターネット検索サイト）から抜き出し、それに基づいた多次元情報空間の方向軸について考察する。「情報のカテゴリー」は、最も基本的な「1次属性」として重要である。§4「物理分野における一例」では、極低温での錫粒子の「相転移現象」をモデル化して感受性関数を具体的に定義できることを示す。概して自然科学においては現象を数学的にモデル化しやすい。ここでは、「情報」の属性として「磁界」と「エネルギー」の2種類があることを指摘する。後者の場合、発信元から放出された2種類の原子核が運ぶ「情報（エネルギー）」は移動するにしたがって退化（減少）し、やがて運搬役の原子核の静止とともに消滅してしまうこと、得た情報を受容する（そのエネルギーで相転移する）か否かは、伝達された情報（エネルギー）の強さ（大きさ）と受け手個々の感受性関数の閾値で一義的に決定されることを計算をとおして明らかにする。最後に本稿全体をまとめるとともに、「情報伝播の数学モデル」に残された今後の課題に言及する。

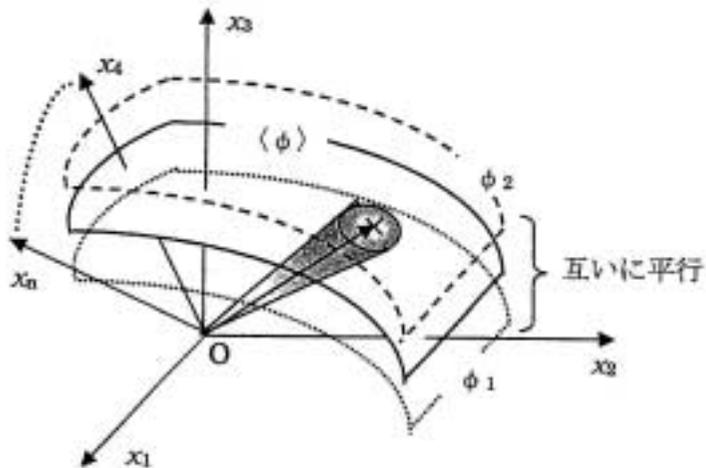
## §2 数学的構造

「情報」が $n$ 個の属性で種類分けできる場合に「 $n$ 次元情報空間」なる概念を導入し、その中の $n$ 次元ベクトルとして「情報」を記述する。情報発信者の頭脳内部に生じたイメージは、あるときは漠然として明確な輪郭をもたない場合もあるし、あるときは明瞭に表現される場合もある。イメージ

がどちらの場合でも、 $n$ 次元空間内のベクトルとして表象されるものとしよう。「漠然としたイメージ」を如何に表現するかには固執するのであれば、情報ベクトルの成分をファジィ化するという方法がある。幾何学的には、これは一つの向きを指す通常のベクトルではなく、然るべき範囲を指すような逆円錐形“コーン”として描かれる。情報空間の座標系原点に円錐の尖端をおき、1方向を中心軸にしてある立体角で広がり、「感受性関数 $\phi$ 」が表す曲面（シート）を切り取った部分を円錐の底とするものである。

図2-1： $n$ 次元情報空間内の情報ベクトルとコーンの例

ここでは、感受性関数 $\phi$ は $n$ 個の属性変数 $x_1, x_2, \dots, x_n$ の2次関数として表され、閾値 $u$ の違いに応じて3葉の超曲面（シート）が互いに平行に描かれている。情報ベクトルは平均的な受け手の感受性関数 $\langle \phi \rangle$ の曲面上の1点を指している。コーンは感受性関数 $\langle \phi \rangle$ の曲面を円形に切り取りそれを底としている。下側の曲面 $\phi_1$ は閾値が小さい（上側の $\phi_2$ は閾値が大きい）場合の感受性関数を表している。



感受性関数 $\phi$ は $n$ 次元空間内で定義されており、その値 $u$ が閾値の大きさに他ならない。

$$\phi(x_1, x_2, x_3, \dots, x_n) = u. \tag{2.1}$$

一定値 $u$ をもつ $\phi$ は空間内で $(n-1)$ 次元超曲面を表し、パラメータ $u$ を変化させれば互いに平行な超曲面族 $\{\dots, \phi_{-1}, \phi_0, \phi_1, \phi_2, \dots\}$ を表す。図2-1に $n$ 次元 $(x_1, x_2, \dots, x_n)$ の情報空間と2次関数で表される感受性関数 $\phi$ ：

$$\begin{aligned} \phi(x_1, x_2, \dots, x_n) = & a_{11}x_1^2 + a_{22}x_2^2 + \dots + a_{nn}x_n^2 + 2a_{12}x_1x_2 + 2a_{23}x_2x_3 + \\ & \dots + 2a_{(n-1)n}x_{(n-1)}x_n + a_{01}x_1 + a_{02}x_2 + \dots + a_{0n}x_n = u. \end{aligned} \tag{2.2}$$

の曲面を例示した。大半の受け手が有するであろう平均的感受性関数 $\langle \phi \rangle$ と、閾値が小さい場合( $\phi_1$ )・大きい場合( $\phi_2$ )の3葉の曲面を互いに平行に描いてある。情報はベクトルで表現され、曖昧な情報の場合には“コーン”がベクトルの代役を務める。

さらに一般的には、 $u$ とともに関数の形自体もゆっくりと変化するだろう。これは式(2.2)の場合には、含まれる $n(n+3)/2$ 個の係数 $\{a_{11}, a_{22}, \dots, a_{nn}, a_{12}, a_{13}, \dots, a_{(n-1)n}, a_{01}, a_{02}, \dots, a_{0n}\}$ がパラメータとして値を変化させることを意味する。

受け手を集団として特徴付けるものは、閾値に関する人数分布である。分布については、問題ご

とに様々な仮定があり得るが、正規分布が典型的な例となる。

「刺激（閃き）」の時間的頻度については、一定時間内にものごとがまばらに生起する確率として定式化されているポアソン分布に従うとみなすのが妥当である。また、距離とともに情報が退化する現象は、ベクトルの先端が揺れ動き“コーン”化するとともにベクトルの長さ自体が縮小する変化である。

以上の「情報伝播の数学的構造」をまとめると、表2-1のようになる。

表2-1：情報の発信から受信までの数学的構造例

物理的特徴	閃き	情報	受け手の集団	感化の有無の境界
数学的性質	ポアソン分布	$n$ 次元ベクトル	正規分布	感受性関数の閾値

$n$ 個の座標変数としては互いに独立な属性を選ばなくてはならない。自然科学の分野では独立変数の選択は厳密に行える場合が多いが、人間社会・行動計量等、人の感受性そのものが問題とされる場合には簡単ではない。多変量統計解析における諸手法、ファジィ測度論等が参考になる。

### §3 社会的情報伝播

ある目的をもって能動的に物事を調査する場合は別として、我々は普段の生活の中で伝えられる「様々な情報」に関して無意識のうちに取捨選択を行っている。自分なりの好悪・価値観に基づいて判断していることは間違いない。「情報」には「属性」が多面的に伴っているので、その属性の程度を記述するための座標系、つまり「情報空間」の中で人は「情報」を把握する。入ってきた情報を受容するか否かは、「情報空間」の中で個々がもつ「感受性関数」が決め手となる。「情報」がその関数の「閾値」を越えれば受容するし、そうでなければやり過ごすということになる。

社会生活の中で「情報」はどのようにカテゴリー分類されているのか。カテゴリーは「情報」の属性として最も基本的な「1次属性」であると考えられる。現代社会において代表的なメディアである全国紙、用語年鑑、インターネット検索サイトの中から抜き出すと以下ようになる。

- (1) 「朝日新聞朝刊面」<sup>1)</sup>：①政治、②国際、③経済、④オピニオン、⑤スポーツ、⑥暮らし・家庭、⑦科学技術、⑧金融、⑨趣味、⑩文化、⑪社会、⑫ラジオ・テレビ番組
- (2) 「現代用語の基礎知識」(1993年版)<sup>2)</sup>：①国際関係、②政治・外交・法律、③経済・産業・経営・労働、④情報・通信、⑤サイエンス・テクノロジー、⑥社会／生活、⑦健康・医療、⑧風俗・流行、⑨文化・芸術、⑩スポーツ・レジャー、⑪外来語・略語
- (3) 「現代用語の基礎知識」(2002年版)<sup>3)</sup>：①経済、②産業、③経営、④政治、⑤国際情勢、⑥各国事情、⑦情報・メディア、⑧科学・技術、⑨社会と暮らし、⑩医療・健康、⑪文化・芸術、⑫風俗・流行、⑬スポーツ・レジャー
- (4) Google・ディレクトリ<sup>4)</sup>：①アート、②ゲーム、③コンピュータ、④ショッピング、⑤スポーツ、⑥ニュース（新聞・テレビ等）、⑦ビジネス、⑧レクリエーション、⑨健康、⑩各種資料（事典・検索エンジン等）、⑪地域、⑫家庭、⑬社会、⑭科学

カテゴリーの数は11～14ある。同一のものもあるが、3つのメディアは互いに目的とするところが異なるから、それぞれに特有なカテゴリーも含まれている。「1次属性」としていくつ、何を選択すべきかという問題がまず生じる。また、用語年鑑に着目すると、10年経過して人々の関心事がど

のように移っているかが読み取れる。93年はバブル経済がはじけた直後だったが、まだ「経済・産業・経営・労働」が1つのカテゴリーとして扱われている。今日なお回復がはかばかしくない日本経済の中では、これらが3つのカテゴリーに細分されて解説されている。つまり、世の中の関心は平均的にこの方面を拡大している。「情報空間」内における各人の「感受性関数（シート）」の形も、世の中の動きとともに、また当人の加齢とともに変容し、特定の方面では「閾値」が上下することが分かる。

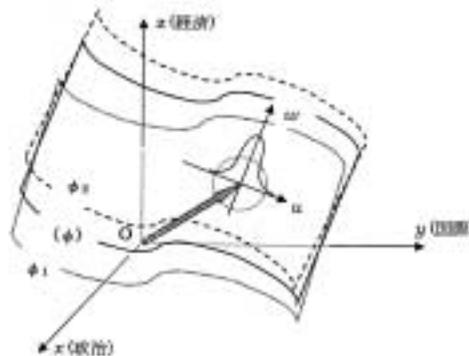
「多次元情報空間」の座標軸としてこれらのカテゴリーをすべて独立変数として扱ってよいかという問題もある。例えば経済・くらし・社会、これらの問題が複雑に組み合わせられることは日常経験するところである。座標軸の設定の仕方の問題と考えるべきか、単に「情報ベクトル」の成分の問題に帰すればよいのか。座標軸の設定に際しては、多変量統計解析で使われる独立変数の抽出手法も有用である。一方、ファジィ測度論では相関のある変数どうしを線形変換などすることなく、そのまま扱い和集合測度の大小の問題に帰着させる。これに準拠した取り扱いもあり得る。本節では、以上の諸問題・諸手法を指摘するにとどめる。

図3-1には、社会情報のうち「政治」「国際」「経済」が互いに独立な3つの属性変数であるとして、3次元情報空間を示し「ある情報ベクトル」を描いた。この情報は3つの分野に跨っており、3つの属性をいくらかずつもっている。ベクトルの先端が人々の「平均的な感受性関数」のシートに到達すれば、多くの人がこの「情報」に関心を寄せることになる。3枚のシートが平行でないのは、閾値だけでなくシートの形も変化していることを示している。ベクトルの先端の小座標系には、感受性の強さ $u$ に関する人数分布として正規分布を模式的に描いてある。3次元正規分布 $w$ は、閾値 $u$ をパラメータとして次式のように表される：

$$w(x,y,z,u) = A \exp[-\gamma(ax+by+cz+d-u)^2] \quad (3.1)$$

図3-1：3次元情報空間の例。情報ベクトル(太線矢)と感受性関数 $\phi_1$ 、 $\phi_2$ および平均的感受性関数 $\langle\phi\rangle$

平均的感受性関数 $\langle\phi\rangle$ をもつ受け手が数としては最大だが、より小さい情報ベクトルで感化される(閾値が低い)感受性関数 $\phi_1$ をもつ人や、閾値がより大きい(感化されにくい)感受性関数 $\phi_2$ をもつ人達がいる。3次元情報空間の場合には、感受性関数 $\phi$ のシートは2次元曲面である。小座標系では感受性の強さ $u$ に関する人数分布 $w$ を表している。



## §4 物理分野における一例<sup>5),6)</sup>

### 4-1 情報伝播の概要

本節では物理学特有の用語を使わざるを得ないので、少し丁寧に議論を展開する。行った実験では、微小な金属粒子(直径0.030~0.035mmの錫Snの球形粒子)約20万個を硫酸リチウム(粉末状)

の中に散らばせてある。多数の錫粒子が情報の受け手としての役割を、硫酸リチウムが情報発信者の役割を務める。硫酸リチウム $\text{Li}_2\text{SO}_4$ という化合物に含まれるリチウム元素の原子核が、外部から飛来する中性子から「刺激（閃き）」を受け、「情報」（トリトンとアルファ粒子）を発信する。周囲に配置した錫粒子はそれぞれの「感受性」（閾値）にしたがって、受け取ったエネルギーで「感化」（相転移）されるものとされないものがある。

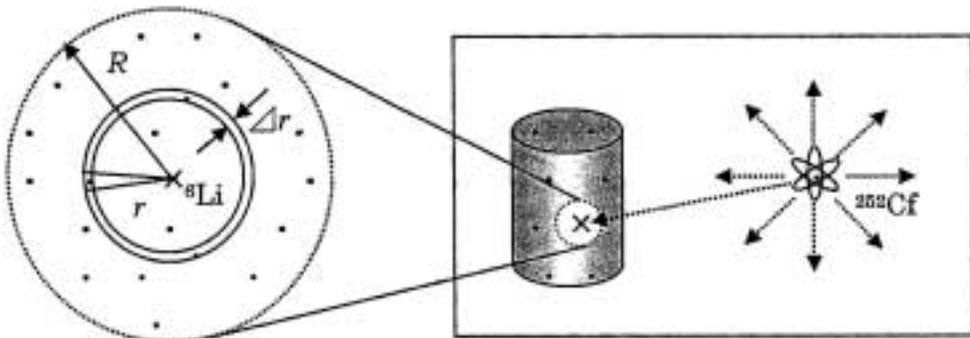
自然界に存在するリチウムには「質量数」が7のもの（ ${}^7\text{Li}$ ）と6のもの（ ${}^6\text{Li}$ ）があり、それぞれ92.5%、7.5%という割合で混在している。質量単位で1だけ小さく存在割合も小さい方の ${}^6\text{Li}$ は、中性子 $n$ と反応しやすいという特徴的な性質をもっている。その性質を十全に利用すべく、用いた硫酸リチウムでは ${}^6\text{Li}$ を人工的に濃縮し95%に高めてある。中性子という素粒子は電荷をもたないために、空気中は勿論、物質内でもほとんど反応することなく自由に移動する。これを捕捉する、あるいは存在を確認することは極めて難しい。 ${}^6\text{Li}$ はそのような中性子と「核反応」しやすく、取り扱いも比較的容易な数少ない元素の1つである。中性子 $n$ が ${}^6\text{Li}$ の原子核に衝突すると（小さいもの同士だから衝突頻度も極めて小さいが）、2つに分裂してトリトン $t$ とアルファ粒子 $\alpha$ になる。これを反応式で表すと、



つまり、リチウム元素 ${}^6\text{Li}$ に対して中性子 $n$ が「刺激役」を務め、その衝突が「閃き（トリガー）」に相当する。この例では、トリトンやアルファ粒子が「情報伝達役」を担い「伝送される情報そのもの」は「エネルギー」である。

図4-1：物理実験の概念図

左側はトリトン・アルファ粒子の発信源 ${}^6\text{Li}$ を中心とする半径 $R$ （飛程）の球の拡大図。相転移（感化）する錫粒子の総数を計算するため、まず半径 $r$ を固定し厚み $\Delta r$ をもつ球殻内で相転移する粒子数を計算する。そのあと $r$ を0から $R$ まで変化させ全球にわたって足し上げる。矩形枠内は実験の概念図。放射性同位元素 ${}^{252}\text{Cf}$ から出た中性子の1発が標的（円筒形）内部の ${}^6\text{Li}$ に衝突している。



「刺激役」の中性子 $n$ をどうやって発生させるか。ある寿命で崩壊していく放射性同位体（ラジオアイソトープ）の1つで、中性子を放出し取り扱いも容易な質量数252のカリホルニウム ${}^{252}\text{Cf}$ （人工的に作られたもの）を利用する。用いた ${}^{252}\text{Cf}$ は毎秒20万個の中性子を周囲に等方的に放出する。被曝させる対象は、多数の錫粒子と多量の硫酸リチウムを混在させた一体物で、物理実験では「標的」とよんでいる。不穏当な表現だが、数学モデルとしてはこの「標的」が1つの人間社会に相当している。標的は放射性同位体 ${}^{252}\text{Cf}$ から11cm離して設置してある（図4-1）。両者の空間的配置関係から、

放出される中性子のうち毎秒100発ていどが標的に降り注ぐ。しかし、情報発信役の ${}^6\text{Li}$ 原子核に中性子が衝突する確率が小さいために、なかなか天啓としての「閃き」に発展しないのが実情である。実際、実験では1分間に1回ていどの衝突（閃き）が起きるに過ぎない。 ${}^6\text{Li}$ の分裂によって発信された情報（エネルギー）は、その周囲の情報受信体（錫粒子）に伝送されるが、受け手に対する影響力は一律ではない。その要因は2つある。1つは、伝送される「情報（エネルギー）」は発信元（ ${}^6\text{Li}$ ）から遠方に離れるにしたがって磨耗し、やがては消滅する。「情報」そのものが弱まるので、発・受信体間の距離の遠近が問題となる。2つめは、情報を受け容れる能力（感受性）に関する個体差である。情報発生源から等距離に位置し等しい「情報（エネルギー）」を受け取ったとしても、受け手個々の感度の鋭・鈍によって感化されるもの・されないものがある。

#### 4-2 情報伝送範囲と個々の受容能力

情報（エネルギー）の伝送役であるトリトンとアルファ粒子は、放出された時点ではそれぞれ一定のエネルギーをもっているが、標的物質中をほぼ直進しながら進むにつれてエネルギーを徐々に失ってゆく（通常の「情報」も、伝送距離とともに雑音が混入し退化する）。やがて錫粒子のどれかに突き当たり吸収されてしまうか、そうすることなく運動エネルギーを使い果し停止してしまうかのいずれかである。後者の「運動エネルギーを使い果す」まで進む距離を「飛程 $R$ （レンジ）」という。ここで考察している反応過程ではトリトン $t$ 、アルファ粒子 $\alpha$ は、初めにそれぞれ $E_t=2.73\text{MeV}$ 、 $E_\alpha=2.05\text{MeV}$ のエネルギーをもっている（1 MeVは100万電子ボルトで $1.6\times 10^{-13}$ ジュール）。この始発エネルギー $E_0$ と移動環境（硫酸リチウム中）から、飛程 $R$ が次式で計算される：

$$R = cE_0^a \text{ 係数 } c, \text{ 冪指数 } a \text{ は移動環境によって定まる定数。} \quad (4.2)$$

また、距離 $r$ だけ進んだときに保持しているエネルギーを $E$ とすると

$$r = c(E_0 - E)^a, \text{ ただし, } 0 \leq E \leq E_0, 0 \leq r \leq R \quad (4.2a)$$

となる。飛程は最大でもそれぞれ $R_t=0.085\text{mm}$ 、 $R_\alpha=0.011\text{mm}$ ていどである。2種類の粒子は、情報発生源である ${}^6\text{Li}$ を球の中心とする半径 $R_t$ 、 $R_\alpha$ の外側には届かない。

一方、半径 $R_t$ 、 $R_\alpha$ の内側に位置する錫粒子が「情報（エネルギー）」を受容する・しないの仕組みとして、この物理実験では「相転移」現象を利用している（図4-2）。

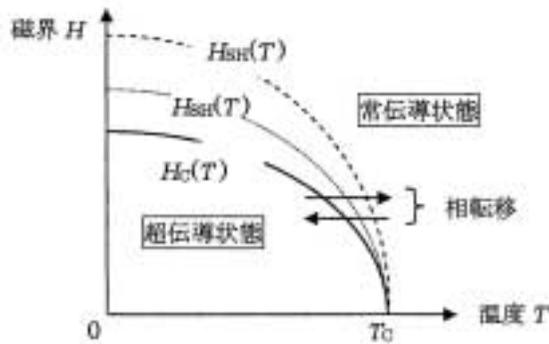
錫など多くの金属は極低温（摂氏マイナス270度前後以下）の環境下では、「超伝導状態」を示す。「常伝導状態」という通常の状態では、金属の電気抵抗は小さいが決して0ではない。温度を下げていくとある温度 $T_c$ （これを「臨界温度」といい、金属によって異なる）を境にして電気抵抗が忽然と無くなり「超伝導状態」に移行する。この変化を「相転移」という。逆に温度を上げて $T_c$ を越えると電気抵抗が突然出現するので、本実験ではこれを利用して相転移が生じたことを確認している。

物理実験で制御しやすい環境は、温度と磁界である。そこで磁界 $H$ をある強さに設定し、その中で金属の相転移が起こる温度を調べると図4-2のようになる。つまり、磁界 $H$ が0のときに比べると、 $H$ の大きさが増すにつれ臨界温度は低くなる。2つの環境変数の座標系（温度 $T$ 、磁界 $H$ ）の中に「臨界曲線」とよばれる仕切り線が引かれ、その内側・外側の領域がそれぞれ超伝導・常伝導状態に対応する。臨界曲線上の磁界、つまり臨界磁界 $H_c$ は温度 $T$ の関数として表されるので $H_c(T)$ と書く（大抵の場合、2次曲線で近似される）。磁界の中に置かれた金属試料の「大きさ」、「形状」、「表面の状態」などの要因によって、臨界曲線 $H_c(T)$ は修正される。金属粒子が小さいほど、また形状の歪みがなく真球に近いほど、さらに表面にひび割れなど無く滑らかであるほど強い磁界に耐えうる（磁

界の侵入に抵抗する) ので、超伝導状態領域が広がり臨界曲線は図4-2の最も上側の破線で表された  $H_{SH}(T)$  となる。逆に、粒径が大きめで歪みがあり表面のキメが粗い粒子の場合には、超伝導状態の領域の広がり方が僅かで臨界曲線は図4-2の中ほどの点線で表された  $H_{SH}(T)$  となる。磁界が強い場合ほど金属粒子の外面の差異が相転移に強く効いてきて、2本の  $H_{SH}(T)$  曲線が開いてくる。逆に磁界0の場合には外面の違いは相転移に影響せず、2本の曲線は1点 ( $T_c, 0$ ) に収斂する。

図4-2：超伝導状態と常伝導状態

2つの状態は2つの環境変数 (温度  $T$ 、磁界  $H$ ) の値で区分され、「臨界曲線  $H_c(T)$ 」 (太い実線) の内側、外側の領域に対応する。



まず「予備実験」として、約20万個の錫粒子を「超伝導状態」に設定し、温度一定のまま磁界を強めることによって「常伝導状態」に相転移する個数をカウントした。これは「情報」を「磁界の増強 (+  $\Delta H$ )」として与えたことに相当する。錫粒子の粒径・品質はほぼ揃っているとはいうものの、大小・形状・表面状態にバラツキがあり (概ね正規分布) 1つ1つが独自の臨界曲線  $H_{SH}(T)$  をもっている。つまり、同じ情報 (磁界の増強) に対しても相転移する粒子・しない粒子がある。これは受け手の「個性・多様性」に該当する。

### 4-3 集団としての情報受容量

この小節では、「情報」を磁界の増強ではなく「エネルギー (温度) の増加 (+  $\Delta E$ )」として与えた場合を扱う。情報 (エネルギー) の伝送距離と磨耗の関係式 (4.2a) を考慮し、さらに受け手 (錫粒子) の感受性を取り込んで、集団として情報をどの程度受容するか (感化されるか) の計算を行う。

上述の予備実験の結果、錫粒子の集団は2つの環境変数 (温度  $T$ 、磁界  $H$ ) を用いて次式の正規分布で表現される (所謂“実験式”) :

$$Y(H, T) = A(T) \exp[-\gamma F(H, T)^2] \tag{4.3}$$

$Y(H, T)$  の意味は各  $T, H$  ごとの粒子密度である。全体の大きさを表す係数  $A(T)$  は温度だけに依存し、指数関数の肩の因子  $\gamma$  は単なる定数として、それぞれ以下のように与えられる :

$$A(T) = 5925.9 \times (5.1 - T), \tag{4.4}$$

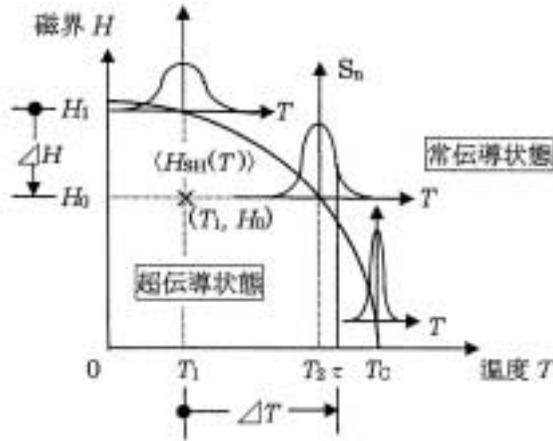
$$\gamma = 5.45 \times 10^{-3}. \tag{4.5}$$

関数  $F(H, T)$  は  $F(H, T) = H - H_{SH}(T)$  の形をとり、臨界曲線  $H_{SH}(T)$  は具体的には温度の2次関数として、

$$H_{SH}(T) = 284.39 + 33.415T - 28.832T^2 \tag{4.6}$$

と表される。実際の実験では温度変化 $\Delta T$ が小さい範囲(最大0.3度でいど)でデータをとっているので、データ解析では十分よい近似で2次曲線 $H_{SH}(T)$ を線形化し、 $F(H,T) = H + 96.429T - 428.86$ とした。

図4-3：平均的臨界曲線 $\langle H_{SH}(T) \rangle$ のまわりに正規分布する錫粒子  
 例示された3つの小座標系で左半分に分分布する粒子群はより低い臨界曲線 $H_{SH}(T)$ を、右半分の粒子群はより高い臨界曲線 $H_{SH}(T)$ をもつ。



標的(社会 $S_n$ )の環境は絶対温度2度( $T_1=2K$ )かつ磁界 $H_0$ に維持されており、錫粒子はどれも図4-3の×印の位置に設定され超伝導状態にある。ある ${}^6Li$ から出た情報(エネルギー)を受け取った錫粒子は、温度が $\Delta T$ だけ上昇する。相転移温度が低め( $T < T_2$ )の粒子から高め( $T_1 + \Delta T$ , この温度を $\tau$ とする)の粒子までが転移(感化)して常伝導状態に移る。転移温度がより高い( $T_1 + \Delta T$ 以上)粒子は転移できない。実際の実験では相転移の起こり始めを紛れなく明確に捉えるために、転移温度が $T_2$ 以上の粒子だけ(ほぼ10万個)をカウントするように前以て細工してある。情報を発信した ${}^6Li$ を中心点とする飛程 $R$ の内側で、このように相転移する錫粒子の総数を求めるために、まず半径 $r$ で薄い厚み $\Delta r$ の球殻内で転移する粒子数 $Z(H_0, \tau)$ を計算する(図4-1)。

$$Z(H_0, \tau) = \int Y(H_0, T) dT, \text{ 積分区間 } [T_2(H_0), \tau(r)] \tag{4.7}$$

トリトン、アルファ粒子が距離 $r$ だけ進んだときに使い残しているエネルギー $E_i$ 、 $E_\alpha$ は式(4.2a)を用いて求まるので、 $r$ の関数となる。その位置で錫粒子に衝突してエネルギーを手渡すと錫粒子の温度が $\tau$ まで上昇する。上昇温度 $\Delta T (= \tau - T_1)$ は比熱を介して計算される。したがって、式(4.7)では積分区間の上限 $\tau$ が距離(球殻の半径 $r$ )に依存している。

積分した結果 $Z$ は $\tau$ (つまりは距離 $r$ )の関数である。次に、球殻内の相転移粒子数 $Z$ を、 $r$ を変えて足し上げる。

$$I(H_0) = 4\pi \int Z(H_0, \tau(r)) dr, \text{ 積分区間 } [0, R] \tag{4.8}$$

積分区間の上限値 $R$ については、トリトン、アルファ粒子それぞれが異なる飛程 $R_t$ 、 $R_\alpha$ をもっている。積分の体積素は $dV = 4\pi r^2 dr$ だが、距離 $r$ に位置する錫粒子(断面積 $S$ )が中心 ${}^6Li$ に張る立体角 $d\Omega = S/r^2$ を取り込んだ結果、 $r^2$ の因子が打ち消されている。実験では、さらに磁界 $H_0$ の強さを15段階変えて相転移数をカウントした。温度 $T_1=2K$ のときの平均的臨界磁界 $\langle H_{SH}(T) \rangle$ の値は $H_1=235$  G(ガウス)である。磁界を235Gよりも $\Delta H$ だけ低く設定し、それを $H_0$ としている(図4-3)。つま

り、実験では $\Delta H$ の値を1Gから50Gまで15段階変えてデータを取った ( $H_0=235G - \Delta H$ )。計算例として、飛程 $R_i$ を7つに区切りトリトンのエネルギーが各球殻で相転移させる錫粒子数とそれを累積したものを、図4-4に示した。また、観測値と計算の結果 (トリトンとアルファ粒子それぞれの寄与も含めて) を図4-5に示した。

図4-4:  $\Delta H=1G$  (ガウス) に設定されているとき、トリトンによって相転移する錫粒子数の7つの球殻ごとの分布および累積図

縦の目盛 (相転移数) は規格化する前の任意スケール。最下層の曲線は、中心点 ${}^6\text{Li}$ からの距離が0~25ミクロン (0.025mm) の球殻内にある錫粒子が絶対温度2.05から2.35Kまで加熱されて相転移した個数分布を表す。一方、最上層の曲線は中心からの距離が遠方 (80ミクロン以上) の錫粒子に関するものなので受け取るエネルギー (情報) も小さく、2.05から2.10Kていどまでしか加熱されないため転移する粒子の個数も僅かである。トリトンの最大飛程 $R_i$ までを7分割して各球殻の寄与を図では積み上げてある。全体の包絡線の下面積が $\Delta H=1G$ のときの相転移の総数に概略対応する。

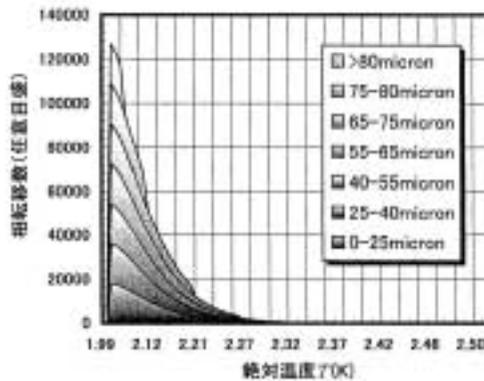
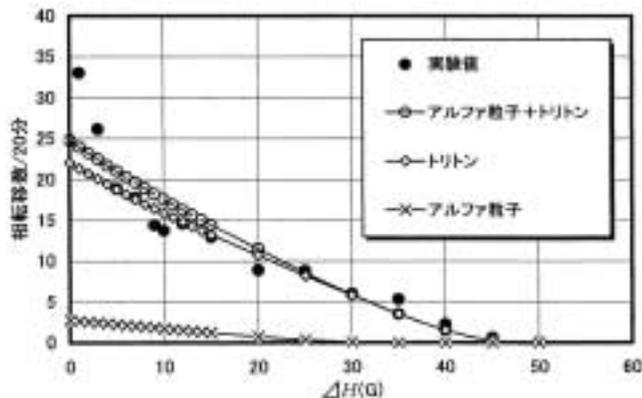


図4-5: 実験結果と計算結果の比較

温度を $T_1=2K$ に初期設定し、その温度における平均的臨界磁界  $\langle H_{SH}(T) \rangle$  の値235Gから $H_0$ の値を15段階にわたって順次下げ、 $\Delta H (=235G - H_0)$  に関して1~50Gにわたってデータを取得した。◇印、×印は、それぞれトリトン、アルファ粒子によって惹き起こされた相転移数を計算で求めたもの。○印は両者を足したものの。



アルファ粒子は飛程が小さいので、 $\Delta H$ が30G以下のときに発信元の ${}^6\text{Li}$ の手近かの錫粒子を相転移させるに過ぎない。トリトンは飛程が大きいため $\Delta H=45\text{G}$ くらいまで少し遠方の錫粒子を相転移させることができる。トリトンとアルファ粒子が惹き起こす相転移数の合計を表わす曲線が実験データの振る舞いとほぼ一致していることが、図4-5から見てとれる。

#### 4-4 情報伝播モデルとしての解釈

実験データがシミュレーションによって再現されたことは、磁界の中に置かれた金属粒子の「大きさ」、「形状」、「表面の状態」などを因子として錫粒子の集団が概略正規分布をしていること、その分布（個性）に応じて照射エネルギー（情報）の受け入れ方が異なること、情報の発信元からの距離に応じてエネルギーの大きさ（情報の強さ）にも強弱が生じること等の仮定が妥当だったことを示している。そして、リチウム6の原子核が中性子から「閃き」を受け「情報」を発信し、周囲に配置された多数の受け手（錫粒子）は「それぞれの感受性」（閾値）にしたがって「感化」（相転移）されるというメカニズムが「情報伝播の数学モデル」を構成していることが頷ける。

ここでの「情報空間」は2つの変数（温度 $T$ 、磁界 $H$ ）からなる2次元空間（平面）である。伝えられる「情報ベクトル」は成分として「磁界のみ」または「エネルギーだけ」をもっている。エネルギーは比熱を介して温度 $T$ と等価である。数学的には、温度成分・磁界成分をともに有する情報ベクトルを伝送することも可能である。図4-3では「情報ベクトル $\mathbf{V}$ 」は $\mathbf{V}=(\Delta T, 0)$ と表されるが、 $\mathbf{V}=(\Delta T, \Delta H)$ なる情報を考案すれば、始発点 $(T_1, H_0)$ から $(T_1 + \Delta T, H_0 + \Delta H)$ に到って平均的臨界曲線 $\langle H_{\text{th}}(T) \rangle$ と交錯し閾値も異なる場合を扱うことになる。

## §5 まとめ

「情報」が発信・伝送・受信される一連の仕組みについて、数学モデルの観点から考察した。それがもつ属性に着目し「 $n$ 次元情報空間」を提案し、その空間の中の $n$ 次元ベクトルとして情報を捉えた。人が抱くイメージ・伝えるべきイメージは必ずしも明確な輪郭をもつとは限らない。そのようなファジイ的な情報に対しては、ベクトルではなく“コーン”を用いて表現することができる。しかし、“コーン”の具体的な定式化は本稿では見送った。

現実には同一の情報に接してもその受け留め方は人様々であり、同一人でも歳とともに変化する。情報空間の中で受け手ごとに、そしてその時々の「感受性関数」をもつものと想定した。情報にはカテゴリとしての「1次属性」が伴うが、どのような属性に鋭敏に反応するかは感受性関数で定義される「閾値」の高低に依存することを指摘した。社会における情報のカテゴリを3つのメディア（全国紙・用語年鑑・インターネット検索サイト）から抜き出し例示し、それに基づいた多次元情報空間の方向軸について論じた。種々の問題点を指摘するに留まり、多変量統計解析、ファジイ測度論等の手法を参考にした属性分類は今後の課題として残されている。

「物理分野における一例」では、極低温での錫粒子の「相転移現象」をモデル化して感受性関数を定義できることを示した。この場合は「2次元情報空間」であり、「情報ベクトル」の属性には「磁界」と「エネルギー（温度）」の2つがある。「感受性関数」は相平面を2分割する「臨界曲線」に他ならない。「閾値」はこの曲線によって一義的に定められる。特にこのような自然現象の分野では、「情報」の発信・伝送・受信に関する数学モデルを極めて明確に記述できることが具体的に示された。

### 参考文献

- (1) 「朝日新聞」2002年10月15日付け朝刊：朝日新聞社
  - (2) 「現代用語の基礎知識」1993年版：自由国民社
  - (3) 「現代用語の基礎知識」2002年版：自由国民社
  - (4) Google・ディレクトリ、2002年10月15日
  - (5) Takeo Ebisu, Tadashi Watanabe and Hajime Yoshiki, A Cryogenic Detection of Neutrons using SSG in a Project of measuring the Neutron's Electric Dipole Moments, in "*Particle Detection & Metastable Superconductivity*" eds. T.A.Girard, M.R.Gomes and P.Valko (Principia, 2001) , p.17~.
  - (6) Takeo Ebisu and Tadashi Watanabe, Cryogenic Detection of Neutrons using Superheated Superconducting Tin Granules, to be published in Nuclear Instruments and Methods in Physics Research-Section A, 2003.
-