3. 確率・意思決定

京都大学数理解析研究所・助教授　楠　岡　成　雄

1989, JULY 31 AUGUST 1,2,3,　　　13:15-15:00

確率　意思決定

楠岡成雄

確率という言葉はわれわれの日常生活においてよく使われる。しかしその正確な意味を問い直してみるときわめて曖昧な意味に使われていることに気づく。一方、確率という概念は　自然科学、社会科学、人文科学といった全ての科学に現れてくる。この講座では確率という概念をいろいろな角度から考えて行きたい。なお、このテキストは講座のための資料として書かれたものでちゃんとした読物にはなっていないことをお断りしておく。

第一章　確率という概念の持つ曖昧さ。

確率の意味を考えるために色々な問題を考えてみます。皆さんはどの様に考えますか。

問題１．（これは Galilei(1564-1642) の論文に現れた。）

３個のサイコロを振ると　９の目と１０の目のでる組合せはそれぞれ

９：　（１，２，６）、（１，３，５）、（１，４，４）、（２，２，５）、
　　（２，３，４）、（３，３，３）

10：　（１，３，６）、（１，４，５）、（２，２，６）、（２，３，５）、
　　（２，４，４）、（３，３，４）

の６通りであるのに、経験によれば９の目より１０の目の方がよくでる。これはどうしてか。

問題２．（これは賭博好きの貴族 Chevalier de Mere が Pascal にだした問題とされており Pascal(1623-1662) と Fermat(1601-1665) の間の往復書簡の中で論じられた。）

A，B二人がゲームをし、いずれも６万円を賭金として出し、はじめに３点とったものが、賭金を全部とるということを決めた。Aが２点、Bが１点とったと

き、相談してゲームをやめた。この賭金１２万円をどの様に分けたらよいか。

問題３．（これは Galilei と Nozzolini という牧師との書簡の中で論じられている。）

実際には１００万円の馬が一頭いる。一人の男はこれを１０万円と値踏みしたが、もう一人の男は１０００万円と値踏みした。この二つの値踏みのうちどちらがより法外な値踏みだろうか。

問題４．（これはしばしばペテルスブルグ問題とよばれる。）

Ａが一枚の貨幣を表がでるまで投げ続ける。１回目に表がでたらＡはＢから１円受け取る。２回目に表がでたらＡはＢから２円受け取る。３回目に表がでたらＡはＢから４円受け取る。４回目なら８円、５回目なら１６円受け取るという風にゲームを進める。この時このゲームを公平にするためにはＡはＢにいくら払えばよいか。

この問題のみそはもし期待値を計算すると

$$\begin{aligned} & 1/2 + 2/4 + 4/8 + 8/16 + 16/32 + \ldots \\ = \; & 1/2 + 1/2 + 1/2 + 1/2 + 1/2 + \ldots \end{aligned}$$

と無限大となってしまい、ＡはＢに無限の金を払わねばならない。しかし、貨幣を投げ続ければいつか必ず表がでるからＡはＢから有限の金しか受け取れないのでとても公平とはいえない。ではどう考えればよいのか。これが問題である。

問題５．Ａ氏は飛行機に爆弾を仕掛けられる確率は一万分の一であると聞き、絶対に爆発しないように細工した爆弾をひそかに飛行機に持ち込んだ。Ａ氏は思った。「これで私はずっと安全になった。なぜなら飛行機に二つ爆弾が持ち込まれる確率は一億分の一だから、もう一つ爆弾が持ち込まれる確率は一万分の一よりずっと小さい。」これは本当だろうか。

問題６．３人の囚人アラン，バーナード，チャールズが幽閉されている。アランは、翌日二人が処刑され一人が釈放されることを知ったが、３人のうち誰が釈放されるかまったくわからなかった。そこでアランは看守に対し、「３人のうち２

人が処刑されるのだから、バーナードとチャールズのうち少なくとも１人は確実に処刑される。私（アラン）のことについてはまったく情報を与えないはずだから、バーナードとチャールズのうち処刑されるものの名前を一人だけ教えてほしい。」と言ったところ、看守はアランの言い分を納得し、「バーナードが処刑される。」と答えた。アランはこれを聞いて、釈放される可能性があるのは、自分のほかはチャールズのみになったので、自分が釈放される確率が増えたと喜んだ。これは本当だろうか。

問題７．Ａ氏とＢ氏とがつぎのような会話をした。

Ａ：Ｂさん、金星上の生物の存在する確率について、あなたの意見を聞かせてください。

Ｂ：よろしい。私は金星についての知識がまったくありませんので、生物の存在する可能性と存在しない可能性とは同様に確からしいと推定して、確率は１／２とします。

Ａ：なるほど。でもこの問題を別の角度から考えてみましょう。金星に猫のすんでいない確率はいくらでしょう。

Ｂ：くどいようですが、私はその方面に無知ですので、やはり確率は１／２とします。

Ａ：では宇宙怪獣キングギドラの住んでいない確率は。

Ｂ：やはり１／２です。

Ａ：わかりました。でもそうすると、猫もキングギドラもいない確率は１／２かける１／２の１／４になりますね。

Ｂ：（当面の問題に気が付いてきたので）さあ、どうでしょうか。

Ａ：したがって、猫かキングギドラのいる確率は３／４ですね。すると、金星に生物のいる確率はすくなくとも３／４となり、最初にあなたのおっしゃった１／２と矛盾しますね。

　とうとうＢ氏は何も言えなくなってしまいました。さて、Ｂ氏の考え方がおかしいのでしょうか、それともＡ氏の議論がおかしいのでしょうか。

問題８．「与えられた円で、一つの弦を勝手に引いたとき、この弦が円に内接す

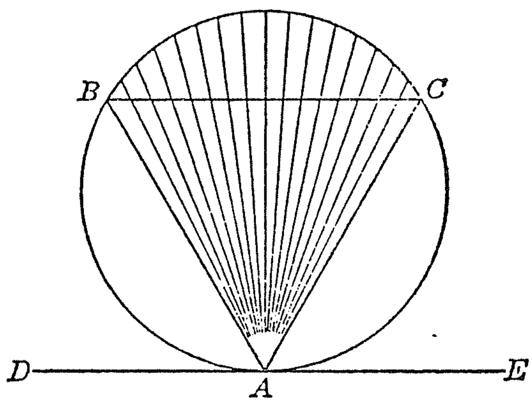
る正三角形の一辺より長くなる確率を求めなさい。」という問題に対して次の三つの解答がありました。どれが正しいのでしょうか。

（１）図１で、ＡＢＣを内接正三角形とし、ＤＡＥを点Ａで円に接する接線とします。勝手に引いた弦はＡを通り他の一端は円周上の任意の点にあるものとします。斜線をつけた６０度の角ＡＢＣの内部にある弦は正三角形の一辺より長いから、都合のよい場合です。角ＢＡＤか角ＣＡＥの内部にある弦は、正三角形の一辺より短い。つまり全ての可能な場合は１８０度の角ＤＡＥの内部にあり、全ての都合のよい場合は６０度の角ＢＡＣの内部にあります。従って確率は６０／１８０＝１／３です。Ａを通る弦を考えなくても、同様な議論はＡの位置に関係なく成立します。

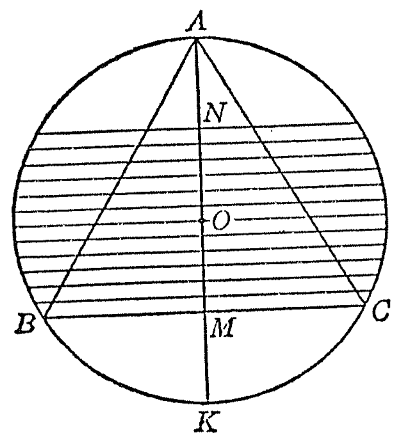
（２）２図のように、勝手に引いた弦が、直径ＡＫ上の任意の点を通ってＡＫに引いた垂線であるとしよう。円の中心からこの三角形の各辺への距離は円の半径の１／２に等しい。特にＯＭは半径ＯＫの１／２であり、直径の１／４です。さてＯＭに等しくＯＮをとると、線分ＭＮの内部にある弦はすべて、この三角形の一辺よりも長くなる。勝手に引いた弦は、ＡＫ上のどの点からでもかけます。三角形の一辺より長い弦は、ＡＫの１／２の線分、ＭＮの中にあります。それ故、確率は１／２です。直径ＡＫをどのようにとっても、直径の位置に関係なく、この議論は成立します。

（３）３図では与えられた正三角形に円が内接しています。（２）で述べたように、内接円の半径ＯＭはもとの円の半径の１／２です。さらに図からすぐにわかるように、弦ＤＥの中点からの距離がＯＭより長ければ、ＤＥはＢＣより短い。一方、弦ＦＧの中点からの距離がＯＭより短ければＦＧはＢＣより長い。結局、一つの弦の長さを知るには、その弦の中点と中心との距離を計れば良いわけです。さて勝手に引いた弦の中点はもとの円内のどこでも良いわけですが、都合のよい性質を持った弦の中点は小さな円の内部にあります。それ故勝手に引いた弦が正三角形の一辺より大きくなる確率は小さな円の面積と、もとの円の面積との比になります。小さな円の半径をｒとすれば、もとの円の半径は２ｒだから確率は $\pi r^2/\pi(2r)^2 = \pi r^2/4\pi r^2 = 1/4$ になります。

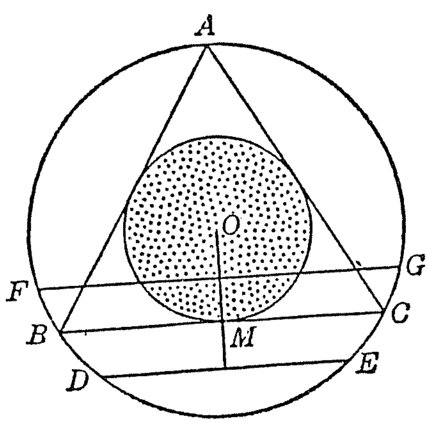
図は次のページにあります。



1 図



2 図



3 図

第二章　確率の考え方、確率の起源

２－１.　確率を本格的な学問の対象とし始めたのは１６世紀頃からのようである。以後「確率の理論」は多くの人によって論じられてきたが、Laplace (1749-1827)により古典的確率論が完成されたといえる。ここで少し長くなるが、Laplace の文章を引用する（［２］p. １６５－１６６　より引用)。

全ての事象は、よしんば小さなもので自然界の大法則とはなんの関わりもないように見えるにしても、天体の運行と同じ法則にしたがって起こっている。与えられた時点において物質を動かしている全ての力と、その分子の位置や速度をも知っている英知が、尚またこれらの資料を解析するだけの広大な力を持つならば、同じ式の中に宇宙のもっとも大きな天体の運動も、また最も軽い原子の運動も包み込むであろう。このような英知にとっては、不規則なものは何一つなく、空気や水蒸気のたった一つの分子が描く曲線も、太陽の軌道がわれわれにとってそうであると同じように、確実に規制されて見えるであろう。しかしこの大きな問題を解くために必要な資料の膨大さについてはわれわれは無知であり、その無力さ故に、きわめて限られた数であるにも拘らず、既知の資料の大部分は計算にかけることが不可能である。そしてわれわれにとってはなんらの秩序なしに継起するかに見える現象を、その作用を偶然という語で言い表す不特定で隠された原因のせいにしてしまう。偶然という語はわれわれの無知の表現にほかならない。

確率は一部分はこの無知に、又一部分はわれわれの知識に関連している。三つまたはそれ以上の数の事象があって、その中のたった一つだけが実在するはずだと知っている。しかしそれがほかのものではなくて、ある特定のものだと信ずべき何等の理由もないとしよう。このように決定できぬ状態では、われわれはそれらの生起について確定的に述べることはできない。しかしながらこれらの事象のなかから勝手に選んだ一つが、実際には起こらないことは有り得る。なんとなればわれわれにとって同等に可能ないろいろな場合のうちで多くはこの事象の存在を排除し、たった一つの場合だけがそれの生起に好都合であるということを見ることがあるからである。

確率の理論は与えられた状況のもとで起こりうるすべての事象を、ある個数の同等に可能な、すなわちその存在について同等に不確かな場合にまとめて、その

中から確率を求めている事象に対して好都合なものの数を決めることに帰着できる。この数と可能な全ての場合の数の比が、この確率を計るものさしで、だからそれは好都合な場合の数を分子とし、可能な全ての場合の数を分母とする一つの分数である。

Laplace が最初に述べていることはきわめて興味深いので少し解説する。物事の未来がすべて現在与えられた状況から完全に一通りに定まってしまうような現象（あるいは機構）を「決定論的」現象（機構）という。そうでないものを「非決定論的」という。典型的な決定論的機構は古典力学である。古典力学では運動方程式は微分方程式で表され、その初期条件（位置と速度の初期状態）が与えられれば将来の運動はただ一通りに定まるとされている。Laplace はここで、全てのことは分子の運動に帰着されるのだから、もし全ての分子の位置と速度の初期状態を知り運動方程式を知りしかもその方程式を解くものがいれば（しばしば Laplace の悪魔と呼ばれる）宇宙全体の未来を完全に予言できる。すなわち全てのことは本質的に決定論的であり、偶然などというものは存在しないのだといっているのである。この考え方は Laplace の高い見識をしめしている。実際、この考え方に対して反論することは難しく、２０世紀になって量子力学が発見されて初めて強力な反論の根拠が与えられたのである。

さて、Laplace は確率という概念は完全な情報がないが故に生ずるとしている。しかし、もともと全てが決定論的であるという仮定から出発しているので、どの様に情報を処理すれば良いのか判然としない。そこで「その存在について同等に不確かな場合にまとめる」という操作によって確率を決めることになる。では何と何が同等に不確実なのか。Laplace はそのことについてはっきりとは述べていない。しかしそれは主観的に決められるといっているようである。

ここで引用した文章以後では今日高校の教科書にあるような「事象の独立性」、「条件付き確率」等が述べられている。従って、筆者には Laplace の主張は「確率は主観的なものであるが合理的なものでなくてはならない」といっているように思える。残念ながら Laplace の議論の中には確率論と統計学の区別がないため一貫性を欠くところがある。しかし Laplace の確率の考え方は現在においても尚重要である。

「同様な確からしさ」については講義の中でさらに詳しく論ずる。

２－２．さて、確率と言うものが主観的なものと割り切ってしまって良いものだろうか。確率にどの程度客観性を与えることができるかという問題は多くの人により考えられてきたが未だ解決されていない。Laplace も確率が主観的なものであるとははっきりとは述べていない。しかし、事象に対する知識をどの様に確率に結び付けるかの規則を述べていない以上その確率はとても客観的なものとは言えない。一方、自然科学の中に確率の概念が現れる。これはかなり「客観的」といえる。これをここでみていこう。

おそらく、自然科学の中の法則で最初に確率概念が現れたのは生物学におけるメンデルの法則であろう。現在生物学においては進化論と分子生物学の結合と言える集団遺伝学において高度な確率論が用いられている。しかし、筆者はこれに余り詳しくないのでここではこれには触れない。ここでは物理学における古典統計力学を見ていきたい。

力学の運動方程式は最初に Newton(1642-1727)によって与えられた。その方程式は質点の位置と速度に対する方程式であった。Hamilton(1805-1865)はこれを位置と運動量に対する方程式に書き直した。いま自由度 n の系を考えると、Hamilton 関数 H は位置 q_j ，$j=1,\ldots,n$，及び運動量 p_j，$j=1,\ldots,n$，の関数であり、運動方程式は、

$$\frac{d}{dt} q_j(t) = \frac{\partial}{\partial p_j} H(q_1(t),\ldots,q_n(t),p_1(t),\ldots,p_n(t))$$

(2.1)

$$\frac{d}{dt} p_j(t) = -\frac{\partial}{\partial q_j} H(q_1(t),\ldots,q_n(t),p_1(t),\ldots,p_n(t))$$

で表される。いま、$x=(q_1,\ldots,q_n,p_1,\ldots,p_n)$ と表すことにし（このような位置と運動量の組全体を相空間と呼ぶ）、$X(t,x)$ は 初期状態が x である時の方程式(2.1)の解 $X(t,x)=(q_1(t),\ldots,q_n(t),p_1(t),\ldots,p_n(t))$ を表すことにする。また dx は 体積素 $dq_1\ldots dq_n dp_1\ldots dp_n$ を表すことにする。この時次のことが成り立つ（Liouville の定理）。

定理．任意の t 及び任意の x の関数 $f(x)$ に対して

$$\int f(X(t,x))\,dx = \int f(x)\,dx$$

が成り立つ。

また、簡単な計算により

$$\frac{d}{dt} H(X(t,x)) = 0$$

がわかる。これは Hamilton 関数が不変量であること示している。実は、Hamilton 関数はエネルギーを表しており、これはエネルギーが保存されることを示している。このことと Liouville の定理を合わせると次のことがわかる。

命題. 任意の t、任意の x の関数 f(x) 及び任意の一変数の正値関数 g に対して、

$$\int f(X(t,x))g(H(x))dx = \int f(x)g(H(x))dx$$

が成り立つ。

これまでのところ別に確率と言うものはまったく現れていない。もしわれわれの注目している系が温度Tの熱浴と接していて熱平衡状態にあるときわれわれはどの様な法則を見いだすであろうか。Gibbs(1839-1903)は相が dx にある確率は

$$(2.2) \qquad P(dx) = Z^{-1} \exp(-H(x)/kT)\,dx$$

(ただし $Z = \int \exp(-H(x)/kT)\,dx$ 、kは Boltzmann 定数)

で与えられると主張した。この主張は今日では一応の説明もあり物理法則として確立している。他にもいろいろな統計法則が統計物理学の基礎法則として確立している。

２－３. 前節で述べたことは余りピンとこないかも知れないので一つ最も簡単な統計力学模型を考察しよう。これは Curie-Weiss 模型とよばれ磁石のもっとも簡単な模型である。n個の「分子磁石」があるとする。１からnまで番号をつけておく。磁性の方向を１と－１で表す。i番目の磁性の方向をx_i（１または－１）としhを外磁場とする。この時 Hamilton 関数は

$$(2.3) \qquad H(x) = H(x_1, \ldots, x_n) = -\sum_{i,j=1}^{n} x_i x_j + h \sum_{i=1}^{n} x_i$$

で与えられるものとする。このとき Gibbs の原理にしたがえば、磁石が x =

$(x_1, \ldots, x_n)$ の状態にある確率 $P(x)$ は

$$P(x) = Z^{-1} \exp(-\beta H(x))$$

で与えられる。ただし、 $\beta = 1 / kT$ かつ

$$Z = \sum_{x_1, \ldots, x_n = -1, 1} \exp(-\beta H(x))$$

である。したがって、例えば平均磁化率 M_n は

$$M_n = \sum_{x_1, \ldots, x_n = -1, 1} \left((1/n) \sum_{i=1}^{n} x_i \right) P(x)$$

で与えられる。

これからどの様な結論が得られるかは講義の中で述べる。

2－4．Kolmogorov の公理主義的確率論

これまでみてきたように確率には客観的なものもある。しかし、「金星に生物のいる確率」を統計力学から導くことなどはできない。したがって、「客観的な確率」には限界がある。このため、われわれは再び「確率をどの様に決めるのがよいか」という問題に引き戻されてしまう。しかし、「かくかくしかじかの確率はいくらか」という議論をしている限り議論は先へ進まない。このような状況を打破するために Kolmogorov は Hilbert の公理主義を確率論に導入することを提唱した。Kolmogorov の考え方は以下のようなものである。

まず Ω を抽象的な集合とする。原理的にはこの集合は「全ての事象」を含んでいるものと考える。よく知られているように「全ての集合の集合」といった概念は矛盾を含まざるえない。よって「全ての事象の集合」などというのも有り得ない。従ってどの様に大きな集合 Ω を取っても十分ではない。しかし当分は Ω がどの様な集合かを明らかにしないことでしのげる。つぎに F を Ω の部分集合よりなるある集合とし、次のような性質を持つものとする。

（１） ϕ（空集合）, $\Omega \in F$

（２） $A_1, A_2, A_3, \ldots \in F$ ならば $\bigcup_{n=1}^{\infty} A_n, \bigcap_{n=1}^{\infty} A_n \in F$

Ｆの要素は「可測な集合」と呼ばれる。最後にＰはＦの各要素を[0,1]の各要素に対応させる写像で、

（Ｐ－１）　$P(\phi)=0$，$P(\Omega)=1$

（Ｐ－２）　$A_1, A_2, A_3, \ldots \in F$　で互いに共通部分がないならば

$$P\left(\bigcup_{n=1}^{\infty} A_n\right) = \sum_{n=1}^{\infty} P(A_n)$$

を満たすものとする。$A \in F$に対し、Ｐ（Ａ）が「Ａの起こる確率」と考えられる。しかし公理主義においてはその意味を問わない。

Kolmogorov の考え方は、上に述べた条件を確率が満たすことには皆異論がないであろうから、とりあえず確率の与え方の議論を棚上げして、ともかく理論をつくっていこうというものである。事実これにより確率論は数学的基礎が与えられ数学において急速に発展し、数理統計学等に大きく寄与した。

このように数学の内部ではもはや確率をどう決めるかという問題は考慮されることがなくなった。しかし、統計学や社会科学においては依然この問題は重要な問題として残った。これについては、次章でのべる。

第三章　意思決定と主観的確率

３－１．Bayes の公式．

いま同じ大きさのｎ個の黒い玉とｍ個の白い玉が一つの箱に入っているとする。そして黒い玉の一つに星印がついているとする。Ｘ氏がよくかき混ぜて箱から玉を一つ取り出したとする。このとき、Ｘ氏の持っている玉に星印のついている確率はいくらだろうか。明らかに１／（ｎ＋ｍ）である。もしＸ氏が彼の持っている玉が白だと教えてくれたときその確率は０である。また黒だと教えてくれたときは１／ｎである。このように情報が与えられると確率は変わる。

いま、二つの事象Ａ，Ｂがあるとする。いまわれわれの状況が事象Ｂに属しているという情報が与えられたときの事象Ａの確率は

$$P(A \mid B) = P(A \cap B) / P(B)$$

で与えるのが妥当である。これを事象Bの与えられたときの事象Aの条件付き確率という。

もし二つの事象A，Bに「なんの関連性もない」ときには、Bが起こっていることを知ってもAについてなんの情報も与えないはずである。したがって

$$P(A \mid B) = P(A)$$

であるはずである。これは

$$P(A \cap B) = P(A)P(B)$$

に等しい。このようなとき「二つの事象A，Bは独立である」という。

さて、いまn個の排反事象C_1，...，C_nが与えられており、我々はこのうちどれか一つだけがいま起こっていることを知っているとする。さていまある情報が与えられAという事象が起こっていることがわかったとする。この時、事象C_iの起こっている確率はいくらか。

Bayes(1706-1761)は次のように推論した。求めるべきは条件付き確率$P(C_i \mid A)$である。ところで

$$\begin{aligned} P(C_i \mid A)P(A) &= P(C_i \cap A) \\ &= P(A \mid C_i)P(C_i) \end{aligned}$$

である。また $\sum_{j=1}^{n} P(C_j \mid A) = 1$ より

$$P(C_i \mid A)$$

$$= P(A \mid C_i)P(C_i) \Big/ \left(\sum_{j=1}^{n} P(A \mid C_j)P(C_j) \right)$$

を得る。これを Bayes の公式という。

少し話が分かりにくかったかもしれないので例を考えよう。

（＊）「二つの箱A，Bがあり、Aには同じ大きさの白玉２つと黒玉１つが、Bには同じ大きさの白玉１つと黒玉２つが入っている」

という設定のもとで考える。

さて　いまX氏が銅貨を投げ表がでたらAの箱から玉を１つ取り出し裏がでたらBの箱から玉を１つ取り出すことにする。あなたがX氏に取り出した玉の色は

何かと尋ねたところ、白だと答えた。銅貨が表である確率はどのくらいだろうか。

Bayes の公式を使えば次のようになる。Ａを「表がでた」という事象、Ｂを「裏がでた」という事象、Ｃを「白玉を取り出した」という事象とすると、

$$P(A)=P(B)=1/2$$

かつ

$$P(C|A)=2/3,\quad P(C|B)=1/3$$

である。よって

$$P(A|C)$$
$$=P(C|A)P(A)/(P(C|A)P(A)+P(C|B)P(B))$$
$$=2/3$$

となる。

さて、Bayes はこの公式を基に数理統計学が建設できると考えた。実際、上の例では玉を取り出すという試行の結果銅貨が表であった方が確からしいことがわかる。しかし Bayes のアイデアには重要な難点があった。（＊）とまったく同じ設定のもとで次のような問題を考えてみよう。

宇宙飛行士Ｘ氏は人類で初めて金星へ到着した。もし、彼が金星で生物を見つけたらＡの箱から玉を１つ、見つけなかったらＢの箱から玉を取り出すことにする。あなたがＸ氏に取り出し玉の色は何かと尋ねたところ、白だと答えた。Ｘ氏が生物を見つけた確率はいくらだろうか。

先と同様に、Ａを「Ｘ氏が生物を見つけた」という事象、Ｂを「Ｘ氏が生物を見つけなかった」という事象、Ｃを「白玉を取り出した」という事象とすると、

$$P(C|A)=2/3,\quad P(C|B)=1/3$$

であることには変わりがない。しかし　$P(A)$，$P(B)$ はいったいいくらなのか。

$P(A)$，$P(B)$ は事前確率、$P(A|C)$，$P(B|C)$ は事後確率と呼ばれる。今の例でわかるように、事前確率がわかっていれば、多くの場合事後確率は合理的に求められる。しかし事前確率は一般にはどの様に決めたら良いかわからない。このため Bayes のアイデアは長い間統計学で用いられなかった。

以後、数理統計学は、Pearson(1857-1936), Neyman(1894-1981), Fisher (1875-1956) といった人たちにより事前確率という概念を避けて発展していった。

３－２．事前確率の復権、主観確率論の復活

しかし Bayes のアイデアは近代経済学の発展と共に復活した。個人の決定行動をどの様に理論化するか、それがミクロ経済学の基本的課題である。von Neumann(1903-1957)-Morgenstern(1902-1977)は１９４４年「Theory of games and economic behavior」の中で期待効用仮説を提唱した。一方、Wald (1902-1950)は１９５０年に「Statistical decision functions」の中で、統計的推測を決定問題と見なししかも合理的決定はある意味で Bayes の考えたようにある事前確率を設定して事後確率に基づいて決定を行うことと同じであることを示した。これらは主観的価値や事前確率という概念を見直すきっかけを与え、１９５４年に Savage(1917-1971)により「The foundation of statistics」が著わされ、主観確率論と期待効用仮説、及びベイズ統計学の基礎が与えられた。但し、主観確率の全面的肯定に基づく統計学には反対者も少なくない。

Savage の理論については講義の中でのべる。

３－３．事実解明的アプローチと規範的アプローチ

物事にはそれぞれ「ありのままの姿」と「あるべき姿」がある。「ありのままの姿」を探求することを「positive approach」、「あるべき姿」を探求することを「normative approach」と呼ぶ。それぞれ日本語ではしばしば「実証的アプローチ」及び「規範的アプローチ」と訳される。しかし前者は訳に問題があるのでここでは某書にしたがって「事実解明的アプローチ」と呼ぶ。これまでの議論はすべて「規範的」であった。「事実解明的アプローチ」から見ての問題点を考察し講義の終わりとする。

文献

この講義のために以下の文献を参考にした。

[１] ノースロップ「ふしぎな数学」第８章，松井政太郎訳，みすず書房

[２] ラプラス「確率論」，伊藤清.樋口順四郎 訳.解説，共立出版

[３] トドハンター「確率論史」，安藤洋美訳，現代数学社

[４] J.M.Keynes, A Treatise on Probability, London(Macmillan)

[５] 鈴木雪夫編「ベイズ統計学とその応用（仮題）」，東京大学出版会近刊

今回の講義は、１９８８年９月に箱根で開かれた鈴木雪夫教授還暦記念シンポジューム「ベイズ統計学とその応用」での討論がその土台となった。［５］はそのシンポジュームの講演を基に経済学部の大学生向けの教科書として企画されている。第３章の議論についてさらに詳しく知りたい方は（どの程度読み易いものかわからないが）「５」を見られたい。最後にこの箱根でのシンポジュームに招いて下さった鈴木雪夫先生、国友直人氏に厚くお礼を申し上げます。