複雑な前処理を自慢しているのだ。オラクルは価値のないアウトプットを解釈しなければならなかったとこぼしている。彼はチーフエグゼクティブに提出する非常に貴重な推奨案をまとめるために、旧式ではあるが明らかにすぐれた管理の知恵を備えたハードウェアを使ってアウトプットを修正していることを認めた。チーフエグゼクティブはほかのだれよりも疲れ果てており、どちらの努力も決定に役立たないと公言している。彼は、その重要な決定を支えているのは「昔の計算機」であることを暴露した。その昔の計算機とは、投げればランダムに表か裏が出るコインなのだ。

## 付録 4. 条件付き確率

Ang and Tang（1975）はこのテーマについて以下のように詳しく説明している。

A. *条件付き確率*（p.43）。事象 E2 が与えらたとき、事象 E1 の条件付き確率 P（Ei | E2）は次のように表される。

（式 A4.1）

B. *結合事象の確率の乗算則*（p.47）。結合事象 E1E2 の確率 P（E1E2）は次のとおりである。

（式）

または、

（式）

統計的に独立な事象は互いに排反である。たとえば、次のように一方の事象の生起は他方の事象の生起を妨げる。

（式 A4.2）

かつ、

（式）

結合事象 E1E2...En の確率 P（E1E2...En）は次のようになる。

（式 A4.3）

ここに、E1, E2,..., En は統計的に独立な事象である。

C. 全確率の定理（p.52）。互いに排反的で集合的に網羅的な n 個の事象 E1, E2,..., En に依存する成果の全確率 P（A）は次のようになる。

（式 A4.4）

[illegible] Ang Tang が
求めたものではなく
一般的なことなので

ここに、

（式 A4.5）

式 A4.2 から、次式が得られる。

（式 A4.6）

Ang and Tang（1975）~~は~~、A の確率~~を~~は平均確率に Ei の確率で重みづけしたもの~~として記述している~~である。

D. ベイズの定理（1764）。トーマス・ベイズ（1701-1761）の定理は Ang and Tang（1975、p.56）~~によって定式化され~~、Thoft-Christensen and Baker（1982、p.17）~~によって~~次式で表され~~た~~る。

（式 A4.7）

ここに、E1, E2,..., En は標本空間にある n 個の互いに排反的な事象であり、A は同じ標本空間にある 1 個の事象である。

Ang and Tang（1975）によれば、ベイズの定理は「逆確率」を求めるものである。すなわち、A が生起した場合、Ei も生起した確率はどの程度だろうか。

Vick（2002、p.37）はこの定理を次式で言い換えている。

$$p［\text{破壊}｜\text{指標}］=\frac{p［\text{指標}｜\text{破壊}］\times p［\text{破壊}］}{p\{［\text{指標}｜\text{破壊}］\times p［\text{破壊}］\}+p\{［\text{指標}｜\text{破壊なし}］\times p［\text{破壊なし}］\}}$$

ここに、p［原因］＝原因が生起する確率

p［結果］＝結果が生起する確率

p［結果｜原因］＝原因が与えられたときの結果の条件付き確率

p［原因｜結果］＝結果が与えられたときの原因の条件付き確率

Pearl（1990、p.541）は、次のように「ベイズ確率の 3 つのフラグ」を特定した。

1. 証拠から仮説へと逆に推論する。
2. 主観的評価を受け入れる。
3. 状況のトータルモデルを構築し、個々の度数を別々に評価するのではなく、すべての確率の合計が 100%になる体系を生み出す。

Ang and Tang（1975）は、3 番目の条件を式 A4.5 で定義している。

Hays（1994、p.47）は次のように説明している。

> ベイズの定理は本来的には決して論争の余地のあるものではない。しかし、ベイズの定理の適切な適用という問題は、確率を厳密な相対頻度と解釈することを支持する者と主観的解釈も認める者との間で論争の的になっていた。この問題は、ベイズの定理に登場する確率のいくつかが自然状態あるいは非反復事象と結びつけらるときに明白になる... 一般には、このような自然状態や 1 回限りの事象を、確率的に意味のある相対頻度として理解するのはむずかしい。

どういうむずかしさ、なのか?

受け入れにくいところがある

ではないか。

## 付録 5. 不確定性

Wadia-Fascetti ら（2002）は ISO（1995）に従って、工学的製品および過程に伴う不確定性として以下の三つのタイプに言及している。

*未知*：竣工状態と現況状態を定義する有意なパラメータを完全に把握することができないこと。そのようなパラメータとしては、構造物の挙動、材料の挙動、残存有効寿命、脆弱性、潜在的ハザード、疲労寿命などの材料特性、補修数量・補修効果、および維持管理作業の定量的測定結果がある。未知、たとえば定量的測定結果がないことは、定性的な（しかし不明瞭な）専門家による判断または意見を導く確定的解析によって補われる。

*ランダム性*：事象は不安定なこともあり、その成果は不確かである。降伏、終局強度、破壊じん性、耐薬品性といった材料特性は変化する。ランダムな現象は確率的解析に向いている。橋梁の劣化や事故の原因にはランダム性があり、十分なデータがあれば、統計的にモデル化することができる。

*あいまいさ*：B. ラッセル（第 1.4 節）によれば、あいまいさは厳密な定義を試みるとすべての事項に影響を与える。特に影響を受けやすいのは定性的評価であり、その例としては状態等級、荷重等級、余寿命、冗長性、安全性、信頼性、脆弱性、潜在的ハザード、社会経済的制約がある。あいまいに定義された橋梁または部材の状態は、ファジィ集合で表すことができる（Frangopol and Furuta, 2000）。遺伝的アルゴリズムとニューラルネットワークモデル（Miyamoto and Frangopol, 2001）はあいまいさを検討し、データおよびモデルに依存する知覚的な尤度をもつ可能性の幅を生成する。

McNeill and Freiberger（1994、pp.187-188）は、ファジィ性の原因となるあいまいさ

とその他の不確定性とのさまざまな組合せを列挙しており、それには以下のようなものが含まれる。

*非特定性*：　多義性あるいは情報提供の欠如。一つのステートメントが多様な意味をもちうること。これはクリスプ集合論で処理することができる。この定義は未知と似ていると思われる。

*不協和*：　純然たる対立。一方のステートメントが他方のステートメントと対立するものとして正となるベイズ確率として処理される。

*混同*：　潜在的な純然たる対立。対立があり、データの意味が不明確である。「可能性」理論によって処理される。

*ファジィ*：　あいまいさ。ベイズ確率（たとえばランダム性）を部分集合とみなすファジィ集合論によって処理される。

ベイズ確率のために、Thoft-Christensen and Baker（1982、p.6）は物理的不確定性、統計的不確定性、モデル不確定性を区別している。Melchers（1987）はこの区別を認めた上で、不確定性を現象学的不確定性、決定の不確定性、モデル化の不確定性、予測の不確定性、物理的不確定性、統計的不確定性、人的不確定性（ヒューマンエラーと人間の介入）に分けている。このように 7 グループに分けられた不確定性のどのグループにも、前者の 3 グループの不確定性がさまざまな組合せで含まれる可能性があり、この多数の組合せの区別はいくらかあいまいである。

Ang and De Leon（2005）は次の 2 つのタイプの不確定性を特定している。

*偶然的不確定性*：　確率変数によってモデル化された本来的ランダム性の非確定的性質

*認識論的不確定性*：　確定的かもしれない現実を正しく表現できないこと。特にリスクを知った上での決定において意味をもつ。

偶然的不確定性は前出の分類におけるランダム性に対応し、認識論的不確定性は未知と関係づけられる。

Ang Tang の本（日本語訳）のと同じですね