

情報・システム研究機構シンポジウム2011  
システムズ・レジリエンス 「想定外」を科学する

# 稀少事象の統計学

川崎能典

情報・システム研究機構 統計数理研究所

2012年2月15日(水) 一橋記念講堂

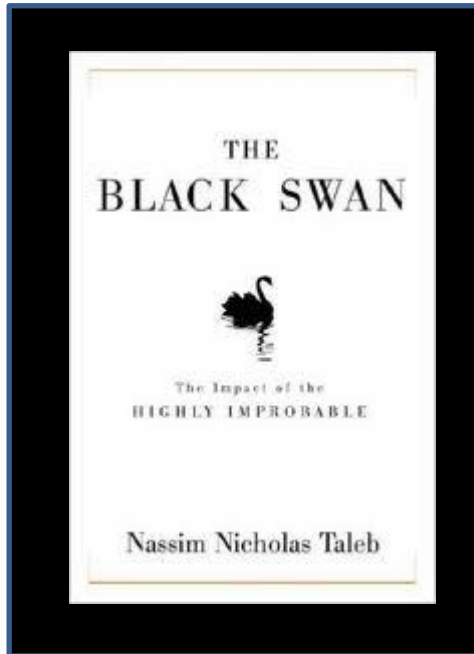
# 統計的モデリング

- 統計的モデリング: データの発生の方を「確率分布」で表現。観測値とマッチするような定式化を探索する。
- 要因、共変量、自己回帰構造などの導入により、「条件付分布」を考えることで、データの散らばりを更に小さいものに。(分散分析、回帰分析、時系列分析...)
- 情報量規準によるモデル選択。

# 稀少事象とモデルのあてはめ

- 稀少事象＝分布の端(裾)に対応する事象。
- 確率が薄い但实际上に起きることも。モデルが想定する裾確率と経験的頻度との整合性が重要。
  - 正規分布によるモデリング(裾事象は外れ値とし、モデルのスコープ外、別シナリオ)。
  - 非ガウスモデリング(裾確率も含めて全体として頻度が合うモデルを選択)。
  - 混合正規(平時と非常時の混合という見方, 効果は上とほぼ同じ)。
  - 極値統計(ある閾値を超えた裾部分だけに注目し、最大値の確率分布等を求める)。

# *The Black Swan* by N. N. Taleb



- 将来の不確定さ、起こりえる事象の確率とその推定が軽視されがちとなる人間心理、社会情勢についての示唆に富む指摘。
- 「統計学に基づく金融リスク管理は無意味」「正規近似は知的詐欺」
- 最もラディカルに捉えれば「帰納推論の限界」の再述。
- 概ね思索を綴ったエッセーであり、現実的な処方箋が書かれているわけではない。



# 使われなかった理由?

- 逆巾則、非ガウスモデリング、極値理論など、リスク管理をより高度に実現するための要素技術はあったはずなのに、それらは積極的に使われなかった。
- 実践レベルでアクセスが容易でなかったというようなこと以上に、使われなかった理由を考えるべき。

# 未実現のリスクはなぜ軽視されるか

- 定量的に評価したリスクに忠実に行動を組み立てる誘因の欠如。例えば金融取引においては、ブラックスワンに備えることは高確率で殆ど無価値になるオプションを掛け捨てで買い続けることに。
  - 雇われトレーダーは、リスクを無視して短期的業績を少しでも挙げるためにコストカット。
- 信用リスク問題では、保険を売る側にも同様のリスク軽視が。(CDSを売りまくったAIGなど。)



# 称賛されないヒーローたち

## (例1) 911テロ

- ハイジャック対策として、旅客機のコクピットのドアは客席側からは開けることはできない規則・構造にしていれば911テロは起こらなかったであろう。
- しかし、まさに起こらないからこそ、そのような規則の必要性は理解されず、恐らくその規則は遠からず撤廃されていたであろう。

# 称賛されないヒーローたち

## (例2)ハドソン川の奇跡

- 2つのエンジン両方に鳥が衝突し停止した旅客機が、パイロットの優れた技術によりハドソン川に無事着水。乗客の命を救ったパイロットの技術が称賛された。
- パイロットあるいは航空管制官が鳥の多いことを理由に離陸を先延ばしすることで鳥の衝突を避けたとしても、乗客の命を救ったことに変わりはない。
- しかし後者が前者のように称賛されることはなく、客を無駄に待たせたとして非難されたであろう。



# システム・レジリエンスに向けて

- 人間社会は往々にして経済的に近視眼であり、短期的なコストカットの誘惑に負けて、未実現のリスクを軽視しがち。
- 復元力・再起力の高いシステムを構築する大前提として、この認識を保ち続ける必要がある。
- Resilience=Resistance+Recovery
- 分岐点の設定。

# ゾイデル海の水防とローレンツ

- 朝永振一郎「ゾイデル海の水防とローレンツ」  
1960年1月, 中央公論社「自然」掲載.
- 1916年1月の高潮被害→ゾイデル海入口を  
32kmのダムで塞ぐ計画。1918年に検討委員会  
発足、委員長は物理学者のH.A.ローレンツ。
- 報告書がオランダ女王に提出されたのは8年後  
の1926年11月。1932年堤防完成。
- 「政治家、科学者、技術者の最も美しい協力の  
例であり、それがまた驚くほど見事に成功した  
例」

# Zuiderzeewerken



1907

Verklaring  
 Afsluitdijk. — Spoorwegen  
 Meerdijk. — Rivieren en kanalen.  
 In te dyken oopervlakte



図版はWikipediaより引用



# Zuiderzeewerken naar Deltawerken

- 1953年南オランダの高潮・大洪水
- →このときワッデン海で観測された高潮はローレンツの計算と驚くほど一致。→デルタ計画へ。
- 委員会報告書は1960年刊行。(委員長David van Danzig)
- 複数箇所にとつたる堤防の最終的完成は1997年。



図版はWikipediaより引用

# デルタ計画と統計解析

- De Haan, L. (1990) Fighting arch-enemy with mathematics, *Statistica Neerlandica*, Vol. 44, No. 2, 45-68.
- 上記論文でデルタ計画策定時の統計解析の概要を知ることができる。
- 1570年の高潮のデータまで遡って含めている。
- 閾値超過分布のもっとも簡単な形が経験的に発見・適用されている点が興味深い。
- 閾値超過分布の漸近挙動を一般化パレート分布と結びつける理論(ピカンズ・バルケマ・デハーンの定理)が出版されるのは1974年から75年。

# 極値統計学：挑戦と課題

- 多変量極値統計。近年研究が進んでいるのは接合関数(Copula)の理論。ファイナンスの例。普段は分散投資が効いていても、市場が下落局面になると資産間の相関(裾依存性)が高まり、どれも同じように下落する。
- 本質的な難しさ: 閾値を超えたデータだけを使うので、データ数が乏しい場合が多い。実務的な含意は「裾指数」に表れるが、裾指数の信頼性を保つのが難しい。
- 従属データ(時系列)に対する適用。
- Heavy tailで $\alpha < 2$ のケースなどに対しては、最大値分布に関する極限定理がようやく導かれつつあるところで、統計的推測はこれから。



# 展望(まとめに代えて)

- 要素技術としての確率論・統計科学は依然重要だが、研究者自身も(時に)社会での受け入れられ方に思いを致す必要。
- デルタ計画のための統計解析から極値理論の重要成果が登場したときのように...
- Unsung heroes/heroinesからの脱却。
- システムズ・レジリエンス: ビジネスコーチングのキーワードを超えて...コストベネフィット的視点を超えて...

# 展望(まとめに代えて)

- 「このごろ、わが国では原子炉の安全性の問題とか、伊勢湾台風の被害にからんで災害予防の問題とか、いろいろな問題が起こっているが、以上オランダでの例からいろいろと教訓を引き出すことができそうである。」

(『ゾイデル海の水防とローレンツ』より)

以下の方々(敬称略)との議論、意見交換から多くを学びました。ここに記して謝意を表します。本報告中の誤りは、全て報告者一人に帰するものです。

笛田薫(岡山大学)、国友直人(東京大学)、矢島美寛(東京大学)、大和田孝(コーネル大学)、神山直樹(ドイツ証券)、丸山宏(統計数理研究所)