



JST数学領域

「数学と諸分野の協働による ブレークスルーの探索」

の実践から見えてきたもの

2013年7月30日 研究総括

西浦 廉政

戦略目標

- **社会的ニーズ**の高い課題の解決へ向けた数学／数理科学研究による**ブレークスルーの探索**
一幅広い科学技術の研究分野との**協働**を軸として—
 1. **内**なるニーズを基盤として**社会**のニーズへ
 2. **現場**主義は徹底できるか
 3. 探索から**協働**への移行は？
時間スケール、**価値**，**評価**の違い

領域全体としてのねらい1

1. 人類が抱える諸問題に立ち向かう数学者の育成

- 複雑化する社会の新たなデザインに貢献できる数学者（数学者の意識改革）
- 20世紀の「質的」変化から
21世紀の「量的」変化にどう対応していくのか
我々の認識に適した新たな方法論は？

領域全体としてのねらい2

2. つながる知

－ 細分化された知の回復

- ・ 第3の次元の発見
- ・ 数学は単なる toolbox ではなく
想像力の源泉

－ 数学的知の普遍性

- ・ 個別科学の文脈によらない



Figure 1. Two-dimensional scientists of the flat and curved "surface worlds" check the Euclidean theorem about the sum of the angles in a triangle. From [14].

領域全体としてのねらい3

3. 共創による新領域開拓（今後に向けて）

- ハイブリッド領域のメリットを生かし，長期的視野から新たな学問領域の開拓の萌芽を目指す
- 数学の宝の現代的応用による新たなフィードバック
- 個人研究からチーム研究（CREST）さらに外部へのスーパーネットワーク作りは何をもたらすか？

ケーススタディ 1

水藤CREST

医療の現場での膨大なニーズ
相関と因果
何ができ、できないのか？



臨床医療における模索そして協働

さががけ「臨床医療診断の現場と協働する数理学」2007~2011

CREST 「放射線医学と数理学の協働による高度臨床診断の実現」2010~2016

水藤 寛

岡山大学大学院・環境生命科学研究科

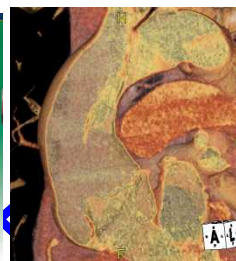
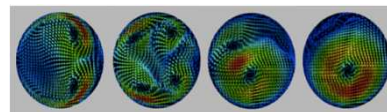
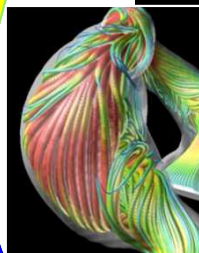
& JST CREST

数理科学者と臨床医
の密接な連携と
フィードバックの
積み重ねによる
真の協働の実現へ

病態機序の解明

「どうしてこの病気はこのような
進行するのか？影響しているのは
どんな因子か？」

- 大動脈の形状と病態の因果関係
- 大動脈解離の連成メカニズム
- 精巧なポンプとしての心臓機能



可視化

数値解析学

微分幾何学

力学系

計算機科学

乳腺外科

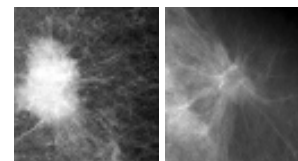
実解析学

放射線科

画像診断支援

「この白黒画像から、熟練医はどうして診
断がつけられるのだろうか？」

- 画像診断の現場に蓄積されている経験・
知識・技能の数理科学的ツール化と言語
化による支援
- 機械学習による模倣とそこからアルゴ
リズム抽出
- テキストマイニングによるカルテの実質的
データベース化



トポロジー

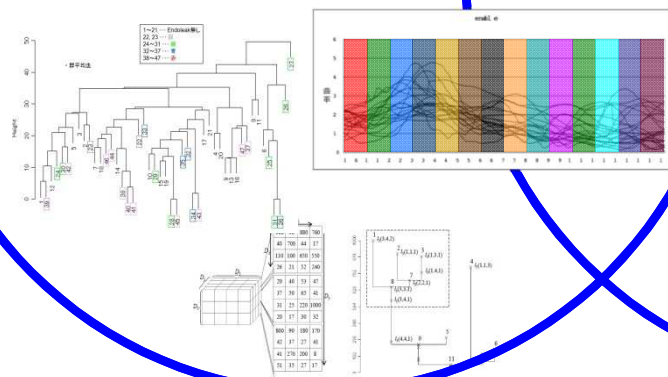
機械学習

最適化

統計的推測

「このデータは信じていいのか？どう
解釈したらいいのか？」

- 統計的のクラスタリングとEndoleakリスクと
の関連情報の提示
- 判別モデルによるリスク予測
- 統計的感度分析によるリスク予測の信頼
性・妥当性に関する検証



計算機統計学

統計数学

放射線科

空間統計学

パラメトリック解析

数理統計学

循環器内科

心臓血管外科

脳神経外科

多変量解析

放射線科

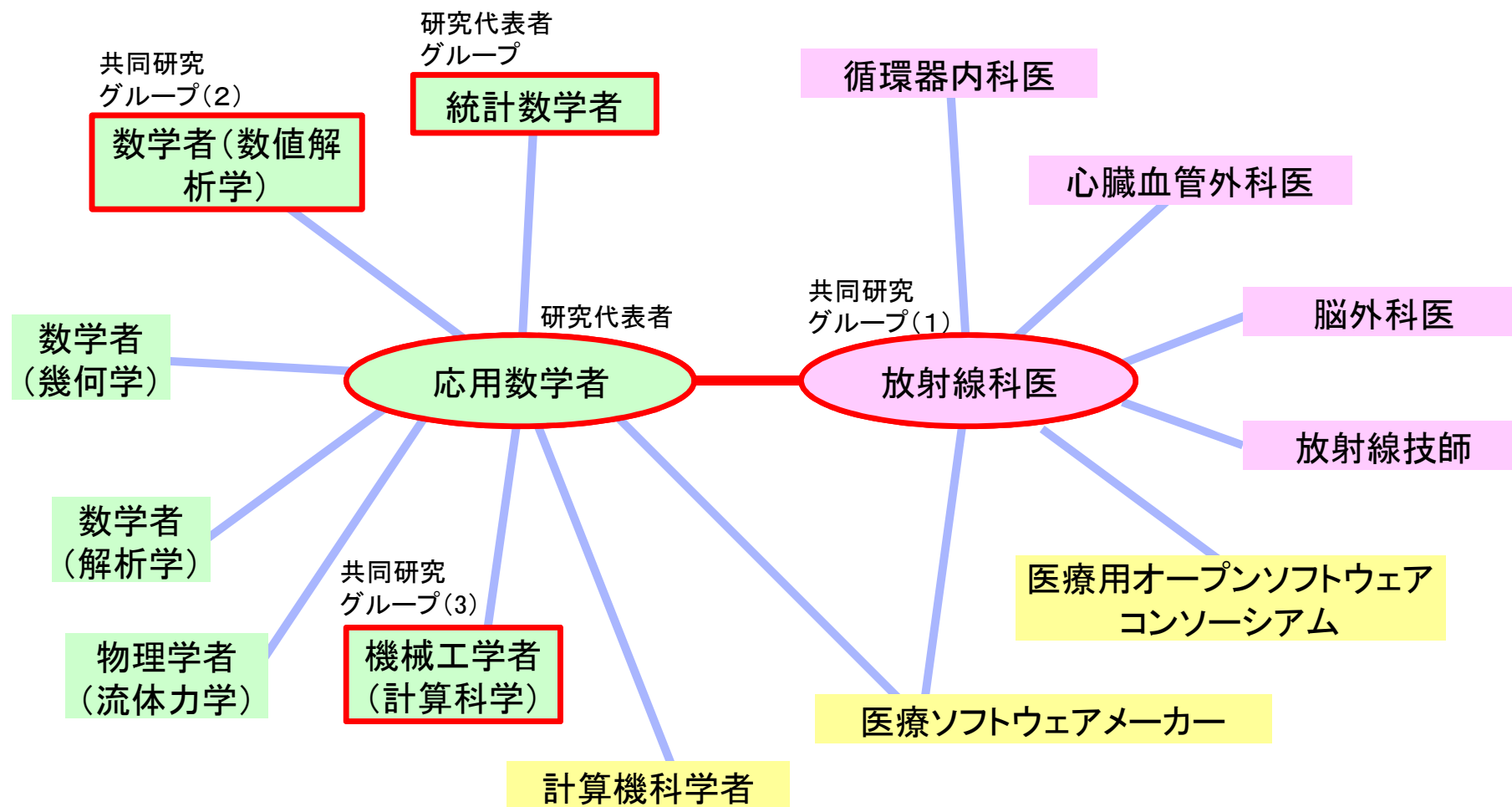
構造力学

流体力学

臨床医療との協働の現状と問題点

- ❑ 興味を持った医師から、次々と問題が提案されるが、対応しきれない。（心臓のMRI動画からの弁軌跡抽出、MRI装置の磁場誤差補正、血管分布からの腸間膜形状の同定、心臓内圧力分布の伝説、肺がん組織の特徴的引きつれの形成メカニズム、心臓への負荷としての大動脈の性状、肝臓癌と門脈圧に関する伝説・・・）
- ❑ 数学に対する「過大な期待」に満ちた提案から、よく考えられた現実的な提案、数学的な面白さが内在していることを予感させるような提案まで、千差万別。
- ❑ 時間的にできそうもありませんと断るには忍びないが、「分野的に関係のありそうな人を紹介して終わり」では済みそうもない。2段階程度の通訳が有効。

我々のCRESTチームと研究者ネットワーク(CRESTスタート時)



相関と因果

- 一般的な臨床の医師は統計的な評価を最重要視
- 一部の医師は、モデルを導入することによって理解が前進することを期待
←このような医師は応援されたり、無視されたり。
- 「壁面応力が大きいところに瘤が出来る？小さいところに瘤が出来る？」
- 今だに様々な局面で、医学側からのclinical question（臨床現場では何が一番必要とされているのか？）と、数理科学的なアプローチに齟齬が発生する例が見られる。
- リーズナブルな予後予測をするためには多くの例の中から意味のあるパターンを見つけ出していかなければならないが、そこにはよりよいモデルの構築とその正確なシミュレーション、臨床データとの間の統計的考察、及びそれらと対をなす医学的知見が必須（だと思う）
- 標準治療のガイドラインに採用される成果を出したい。しかしそれが実行できる数理科学者はまだまだ圧倒的に少ない。

ケーススタディ 2

乳がん検診と過剰診断

数学モデルの必要性和限界

毎年の乳がん検診は本当に必要でまた効果があるのだろうか？



In November of 2009, a previously little-noticed panel of medical experts stirred up a political ruckus in the United States by recommending that women between the ages of 40 and 49 should no longer be counseled to undergo routine mammograms.

毎年の検査は**不要**, 2年毎で十分！

Figure 1. Until 2009, routine mammographies had been recommended on an annual basis for women over 40. Research using six mathematical models of breast cancer demonstrated rather small benefits of annual screening versus biennial screening. An independent task force of physicians recommended that women younger than 50 should no longer be counseled to undergo annual screening.

Stanford 乳がんモデルのチャート

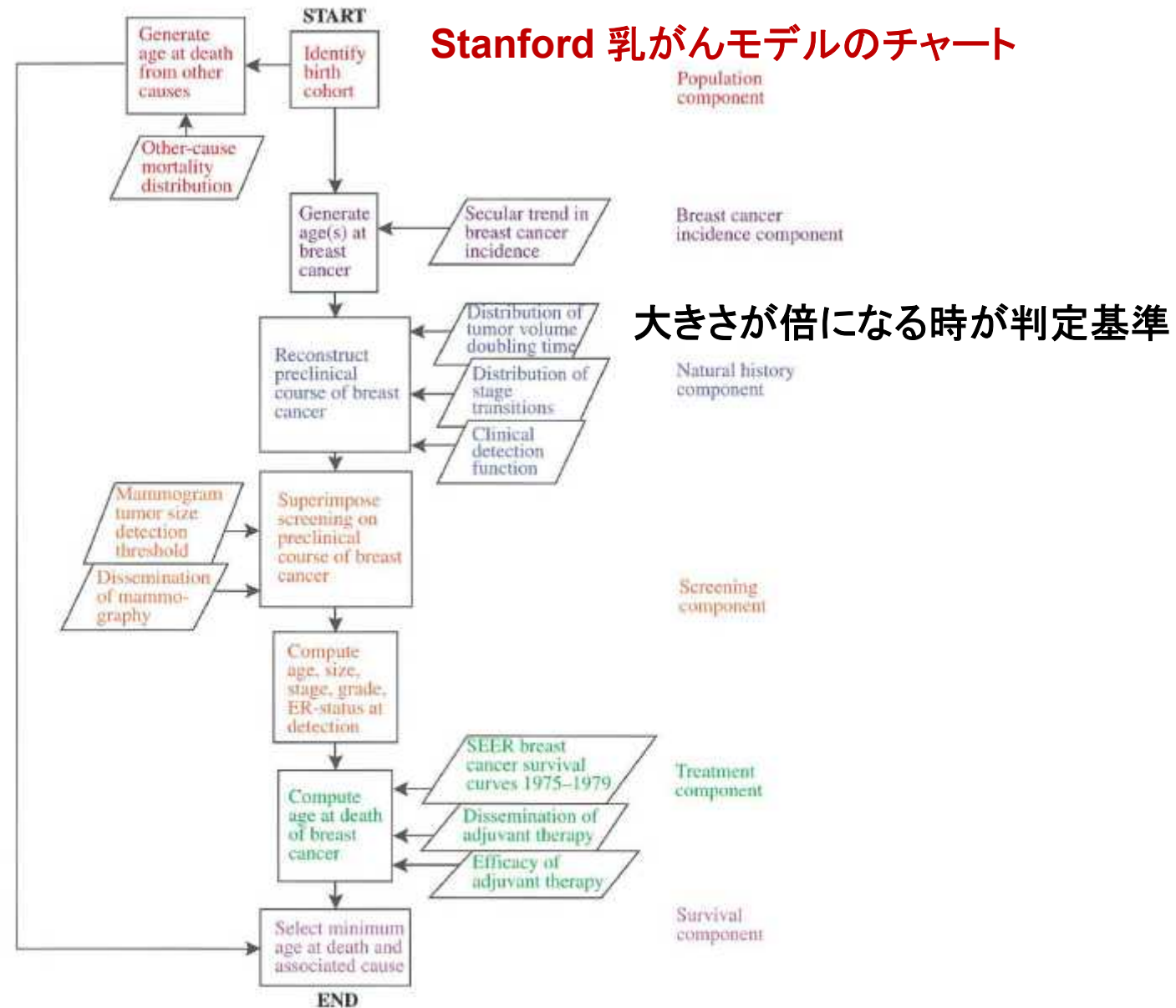


Figure 2. A flow chart of the Stanford breast cancer model, one of the six commissioned by the U.S. Preventive Services Task Force. The model is a Monte Carlo simulation of individual patients, rather than populations. Parallelograms represent inputs. The natural history component is a deterministic model of the physical growth of the tumor; other components are based on empirical probabilities inferred from population data. (Figure courtesy of Sylvia Plevritis and the Journal of the National Cancer Institute Monographs, 2006, pages 86-95; A Stochastic Simulation Model of U.S. Breast Cancer Mortality Trends from 1975 to 2000 (Figure 1).)

数理モデルによる予防医学，疫学，画像診断などは医者にとって代わるものではまだない。しかし**過剰診断・医療や錯誤の低減**には寄与できる。多くのTrade-offとDilemma，またそこにおける多くの**不確定要因**を乗り越えて，定量的評価には数理的方法論が不可欠だろう。患者のQOLの向上には，心理的要因もあり，総合的判断が不可欠。

In sum, the breast cancer controversy suggests that mathematical models have earned a place at the table in discussions of health policy, but they are not yet trouble-free.

However, the acceptance of mathematical models for medical decision-making—at least behind the scenes—continues to grow.

SIAM Conference on **UNCERTAINTY QUANTIFICATION**

March 31-April 3, 2014
Hyatt Regency Savannah
Savannah, Georgia, USA

This conference is being held in cooperation with the American Statistical Association (ASA) and the GAMM Activity Group on Uncertainty Quantification (GAMM AGs UQ).

Organizing Committee **Co-Chairs**

Michael Grebe, University of Bonn, Germany
(GAMM AGs UQ, ASA Representative)

Max Gunzberger, Florida State University, USA

Marcia McNutt, U.S. Geological Survey, USA

Philip Stark, University of California, Berkeley, USA
(ASA Representative)

Conference Themes

- Data analysis
- Data assimilation
- Decision support
- Design of experiments
- Forward problems
- High-dimensional approximations
- Inverse problems
- Model bias and calibration
- Model reduction
- Multiscale systems
- Numerical methods for uncertainty propagation
- Numerical methods for PDEs with uncertain coefficients
- Parameter estimation
- Rare events
- Sensitivity analysis
- Surrogate models
- Uncertainty quantification
- Verification and validation
- Visualization

**Instructions on how to participate
and more at**

<http://www.siam.org/meetings/uq14/>

不確定性のモデル化と数学的評価が必要

現代の不確実性はどこから来るのか？

我々の認識がもつ多くの罫

- **有限**の地球での人間の欲望の飛躍的増大と衝突
- 我々の生き方に制約を与える主体が「目に見えるもの」から「**見えないもの**」に移行している。
 - 地球温暖化, 経済変動, リスクマネジメント, 育種学, 無差別殺人, ..
- 単純な「**原因 - 結果**」という枠組みの限界
 - 複合的因果関係及び**フィードバックループ**, 相互依存性
 - 加害者と被害者が不分明あるいは同じ.
- 時空間**スケール**と認識の乖離
 - 非常にゆっくりとした変化は認識できない.
 - 局所的変化が大域的变化につながる.
- 人間は**線形**思考, しかし現実**非線形** →
 - **モデル化+データ解析が必要**
 - 今の傾向がこのまま続く **vs** いつ破綻が起きても不思議ではない

Example 1: Math Model in Onchocerciasis Control

- parasitic disease known as “river blindness”
- Onchocerciasis Control Program in West Africa (OCP): 1974 – 2002
- Math model “ONCHOSIM” was used in the program

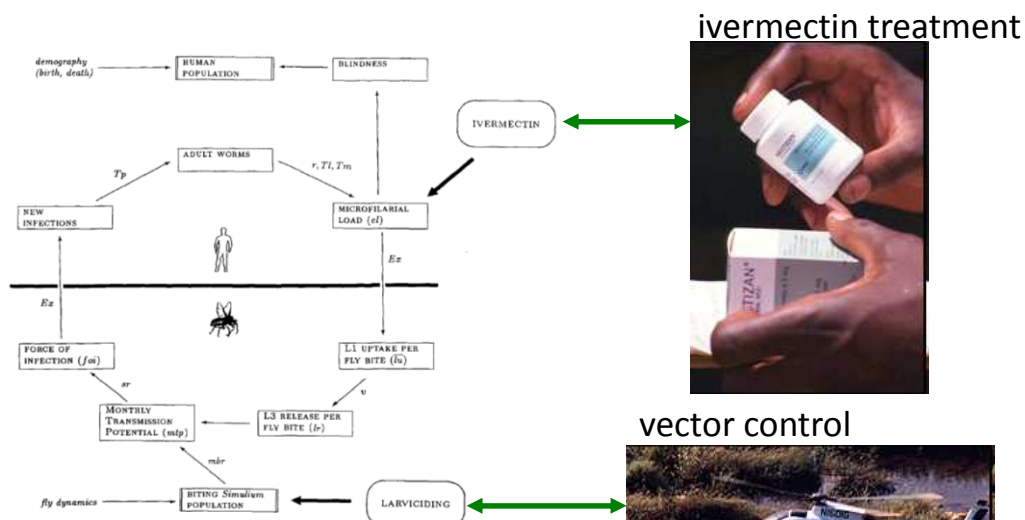
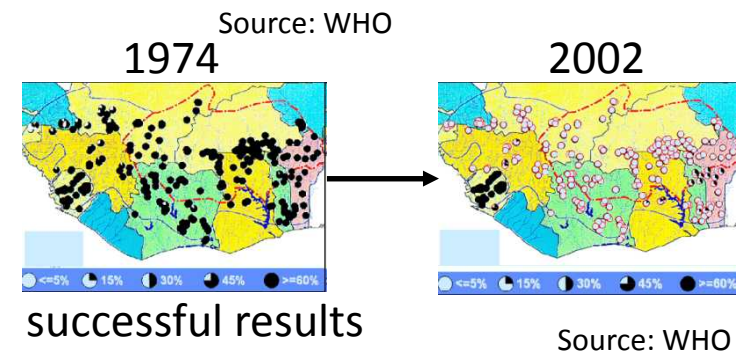


Fig. 2. Schematic representation of the structure of the model.

Source: A.P. Plaiser et.al.



Source: WHO

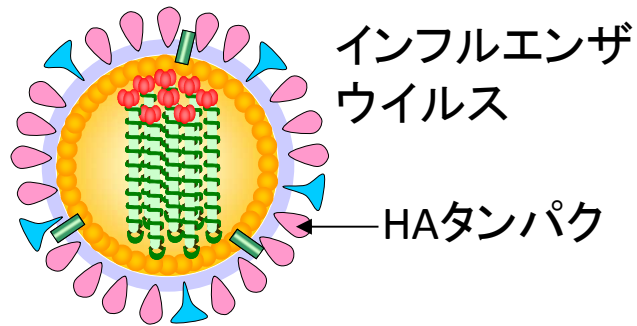


- “Modelling has been successfully used by the OCP”
- Action was being taken based on model predictions
- Example: model predicted that vector control could be safely stopped after 14 years of effort. Control was therefore stopped and there was no significant transmission during the following 3 years. (Source: WHO Technical Report Series 852, page 63)

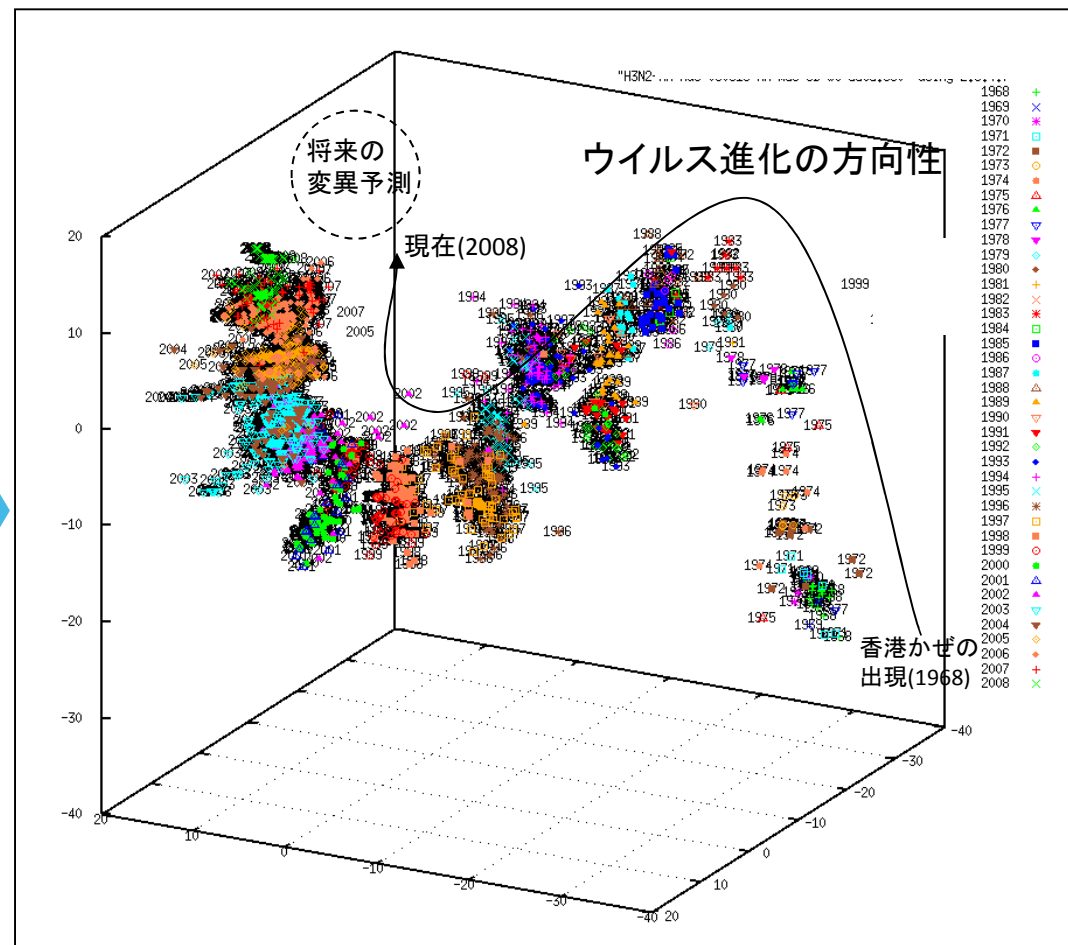
感染症と闘う

インフルエンザウイルスの変異予測

伊藤公人(北海道大学人獣共通感染症リサーチセンター)



過去40年分のHA遺伝子データ
(約3700株分)



インフルエンザウイルスHA遺伝子の
3次元空間での時間発展

防災・減災問題は多くの利害と視点がからみ複雑，一方で科学的検証はまだ十分ではない。

490億もかけて防潮堤再設置する意味は？ 高台移住は町勢衰退につながる

どれくらいの頻度で巨大津波が来るのか，そのようなレアイベントにどれだけコストをかけるのか？



津波で崩壊した防潮堤



防潮堤と防波堤のセットが良い？

防潮堤の効果，反射波の影響，防波堤とセット

数学領域候補

Math for uncertainty
Math for decision-making

どちらを選んで行くのか

1. 出口に近く**フォーカス**されたテーマ
2. 普遍的な**扇の要**(述語的)テーマ

1. のカテゴリーだが運用で2. に出来るテーマ