

さきがけ研究を通じて ～現代的な統計学と量子物理の連携

2012年12月11日

所属：東京大学 情報理工学系研究科数理情報学専攻 助教

田中冬彦 (*Tanaka Fuyuhiko*)

はじめに

さきがけ研究(H24年3月終了)に関連した具体的な連携活動を紹介し、今後の方策について述べたいと思います。

さきがけ研究で目指した連携

大きな目標(量子統計理論の構築)

ミクロな系の統計理論(量子統計)の構築と物理実験への応用を統合し、
両分野間に新しい融合領域を確立すること(例:バイオインフォマティクス)

統計理論 = ほとんど数学(抽象的)



← ものすごいギャップ!

(物理の人の考える)統計のイメージ

実験で推定誤差を評価する時に使う公式 (Fisherの統計=かなり古い)

(物理の人の考える)数学との連携

解析学 → 非線型微分方程式

代数学 → 量子力学、物性理論

幾何学 → 相対論、ゲージ理論、超弦理論

確率論 → 統計物理学(統計理論とは全く違う!)

連携のための足がかり: Q-stats

Q-stats (2010.04-)

量子系の統計的推測の研究に興味のある理論物理、実験物理の若手中心のメーリングリストおよび**研究交流の組織**

URL: <http://www.stat.t.u-tokyo.ac.jp/~ftanaka/jst/qstats/index.html>

現状と統計サイドの目標

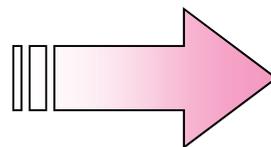
- ・統計理論と理論物理; 数学(数理物理)が中心
- ・理論物理を媒介にして実験物理にも啓蒙; 統計学の波及を目指す
- ・いつでも誰でも協働できる**土壌づくり** 現代的な



連携研究の素地をつくる (1/2)

発足当初から目標は明確

Q-stats内の研究交流を通じて、メンバー間で共同研究が
自然に発生することを目指す
(「共同研究を始めること」が目的ではない！)



「研究交流」といっても難しい

- ・全く新しい連携(国内外に先行例なし)
- ・財政母体なし(草の根的な組織)
- ・当初は支援する先生もなし

連携研究の素地をつくる (2/2)

連携研究にとって重要なポイント

1. 物理的な近さ
2. 精神的な近さ
3. お互いの専門知識・連携ノウハウの共有



以上を意識した活動を少し紹介

共通のテーマでの勉強会

Q-stats当初に行った勉強会(情報幾何)

- ・個人的には既習の事柄;オブザーバーとして参加
- ・直接、研究上のメリットはなかった
- ・しかし、後々、参加者と研究上の議論をする素地になった

勉強会は最初の「協働体験」

直接、研究に結びつかなくても**連携研究を進める基盤作り**

- ・定期的に顔を合わせる
- ・異なる分野の考え方、価値観がわかる
- ・参加者一人一人の興味や人間性も見える

組織的な異分野交流活動

物理 (理論)



統計理論

2011年秋;統計学会*(国内初の量子統計セッション)

2012年秋;統計学会(企画セッション)

統計理論



物理 (理論)

物理 (実験)

2012年春;物理学会(統計チュートリアル)

2012年秋;RIMS研究集会(ベイズ統計チュートリアル)

物理 (実験)



物理 (理論)

統計理論

2012年秋;物理学会(実験チュートリアル)

2012年秋;RIMS研究集会(量子情報実験チュートリアル)

活動の成果

研究関連

1. 統計理論・物理(理論)での議論はかみあってきた(謝辞レベル)
2. 物理(理論)側を通じて、広く実験分野の現況を把握、協働の可能性の議論
3. 連携して取り組むべき喫緊の課題もはっきりしてきた(次スライド)



本格的な共同研究の機運が高まってきた

これまでの交流で得られた課題
～大規模量子トモグラフィ

統計理論と物理が連携すべき課題

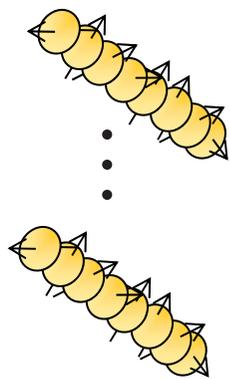
量子トモグラフィ

実験データから**統計的手法**を用いて量子系を特徴づける行列を推定する作業

様々な量子物理実験で使用

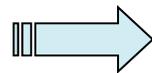
例: 量子光学、量子制御、量子暗号、量子計算、量子情報通信 etc.

1. ミクロの系(量子系)を記述する数理モデルを指定



同一の状態に準備された n 個の系
(測定で壊れるため、一部だけ測る)

2. 適切に選ばれた
複数の測定装置

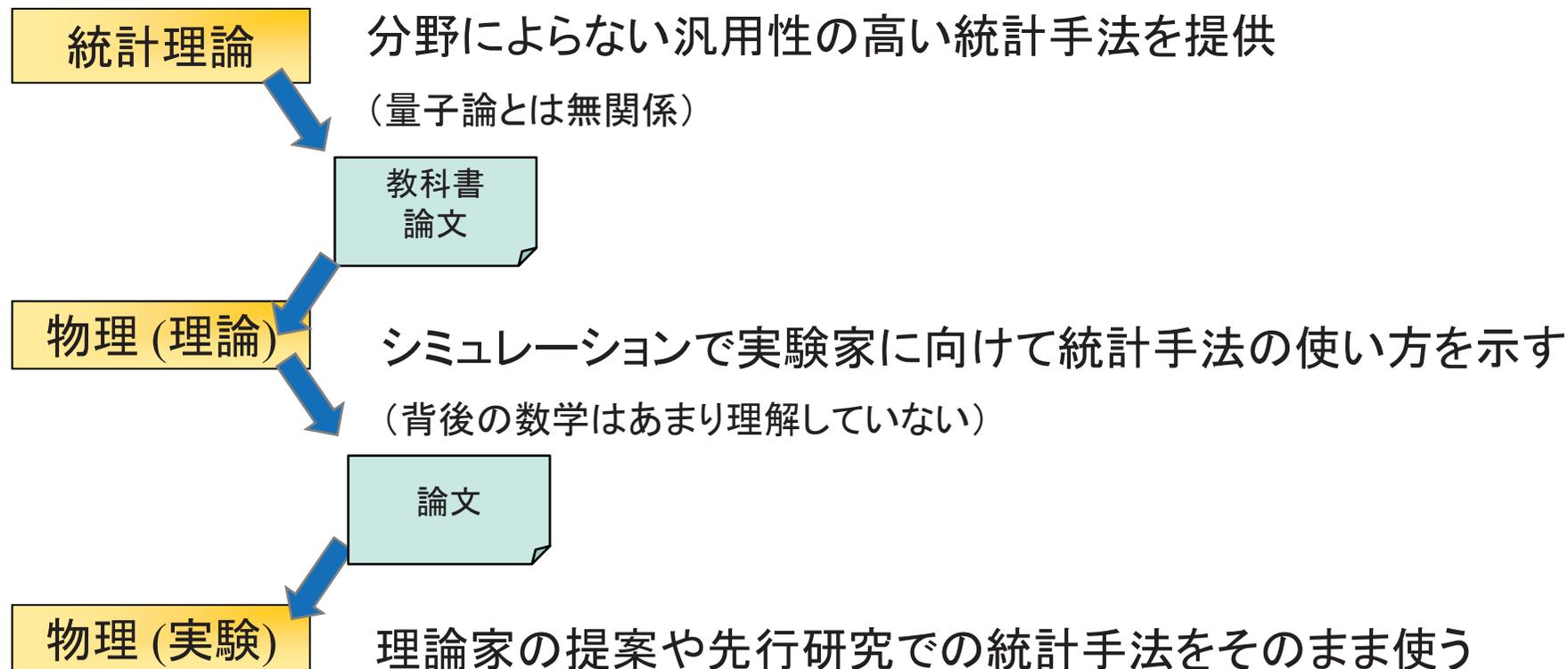


3. 測定データから
統計処理



量子トモグラフィの変遷

従来(2000年代)



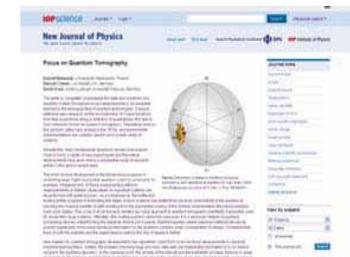
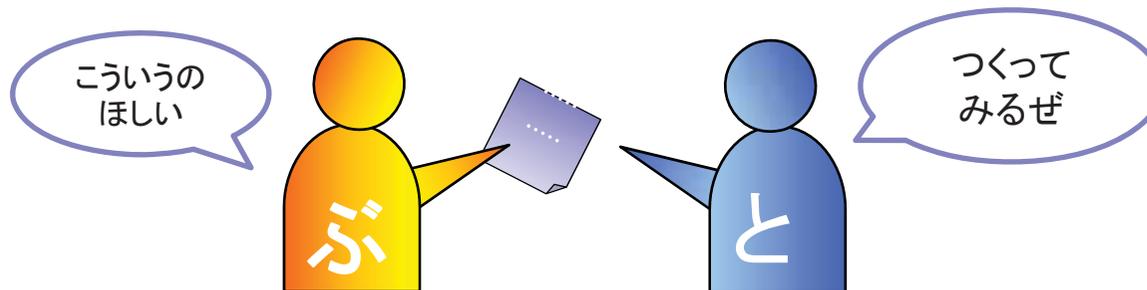
量子トモグラフィの変遷

現在～将来

実験技術の向上により巨大な量子系で様々な測定が可能

- ➡ ビッグデータ・複雑なモデルの取扱い(既存手法では不十分)
- ➡ 量子トモグラフィに特化した統計的手法の開発が急務

既製品からオーダーメイドの統計手法へ



参考: *New Journal of Physics*;

量子トモグラフィの特集号 (2012年)序文

世界の最新動向

国内

統計理論

量子統計に対する認知度、
興味、関心が次第にUP
(世界でも先駆的な動き)



物理

- ・欧米の実験家の解析手法を踏襲(実験)
- ・認知度低い&重要視されてない(理論)
(プランクの仕事忘れてる?)

さきがけの
成果!

海外

統計理論

? (ニーズに気付いていない)

物理 (理論)

- ・物理実験での統計理論(ベイズ、
機械学習など)の重要性を強く認識

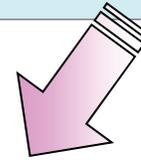


連携研究のもたらす効果

量子物理実験の現場を踏まえた
統計手法の開発



量子論を考慮した効率的な測定方法
の提案



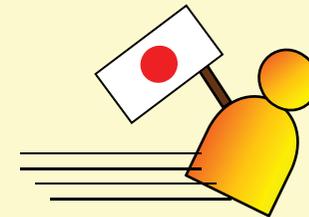
1. コストダウン



データ数を減らして精度を保証 → 小規模で高精度の実験が可能

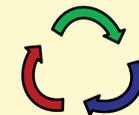
2. 日本発の先駆的な実験結果

高度な統計手法で実現可能な実験



3. 国際的な競争力の強化

収集データ数が半分で実験時間も半減 → 実験サイクルも短縮



連携凍結で想定されるリスク

海外で新たな統計手法と測定方法をあわせて特許がとられた場合



実験コストの多大な増加！

最新の測定装置には特許料が上乗せ

→ 海外と比肩するには高額機器の購入が不可欠

試算例：

従来 1000万円の実験装置

特許取得会社の独占販売 → 2000万円

国内の実験研究室で 200台購入

→ 差額 $1000万円 \times 200 = 20億円$ が海外に流れる

物理実験家は科学的結果を出すことを重視
(技術改善のための数学的手法まで手が回らない)

何が連携のボトルネックなのか？

ここまでの経過

連携推進方策(cf 中間報告)を実現

1. 定期的な議論の場や成果発信(統計学会 & 物理学会 & RIMS)
2. 若い世代で異分野同士のコミュニケーション
3. 全体を俯瞰した共通課題の設定(量子トモグラフィ)



後は物理分野と共同研究を推進していくだけ？

連携を進める上での障害

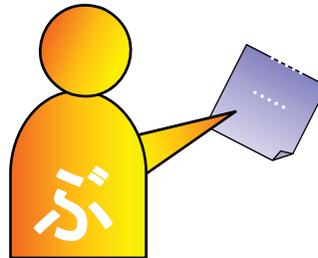


答えは**NO!!**

既に限界！！

残念ながら連携終了

こういうの
ほしい



すまん
(泣)



なんで？

連携を進める上での障害



答えは**NO!!**

既に限界！！

理由

- ・**現在の体制**では専門分野での研究業績(=論文)を増やすことが重要、連携研究より優先せざるを得ない
- ・教員としての仕事に加えて、HP作成やオーガナイズなどの**事務作業も一人**でやっていて厳しい
- ・さきがけ終了の現在、**PDを雇える資金もない**
- ・**キャリアパスがない**状態では学生に勧めづらい
- ・育成した学生も民間就職や他のPDとして**別の仕事**



提出書類

(オーガナイズ関係)

問題点に対する回答

共同研究への橋渡し

問題点:

1. 面白そうな課題が見つかったとしても具体的な共同研究にはなかなかつながらない
2. 数学者と諸科学・産業との間には壁がある(言葉の壁、時間の壁、文化の壁)

1に対する回答:

- ・理由は先のスライドにある通り
- ・Q-statsの活動が継続されることが、解決策の鍵

2に対する回答:

- ・時間はかかる(*)が、Q-statsで得られたノウハウを参考にすれば容易に乗り越えられる
- ・ただし絶対的な方法論はないため、個別の工夫は必要(そのためのノウハウもある)
- ・Q-statsでの実践ノウハウは(研究業績として評価されないが)さきがけ研究の大きな成果!

*コアメンバーとして活動しても2年(他の研究・仕事もこなしながら)

情報発信(数学の有用性の認知度向上)

問題点:

諸科学・産業において「数学が役立つ」という認知度が低い

量子統計としての回答:

- ・現状、萌芽段階のため成功事例を打ち立てることが大事
(ただし、そのリソースは枯渇！)
- ・統計の理論研究者が興味をもつことや、どういう場面で力を発揮できるのか、実験サイドでもよく理解されていない
(理論物理サイドも99.9 %の人が同様。)
- ・「役立つ」云々の前に、生身の人間同士が交流する機会を増やすべき
(現場の人に喧伝してもらう方が効果的)

ここでの読み替え

諸科学・産業 → 物理実験

数学 → (現代的な)統計理論

※数学全般の宣伝とは戦略が違う

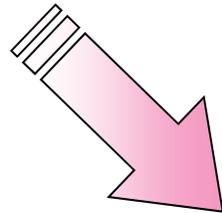
先端数学連携ユニット(仮)のご提案

異分野連携には2段階

A. 連携の萌芽段階



- ・世界に類を見ない(例:量子論×現代的な統計理論)
- ・各分野で懐疑的+認知度低い
- ・若い人主導だと資金調達・人材確保で苦労



B. 成果が出始めている段階

- ・海外でも連携・成功例あり
- ・各分野内でも重要性を認識
- ・Aに比べるとはるかに参入しやすい



連携萌芽→連携成果の支援

先端数学連携ユニット(後述)は

連携萌芽 → 連携成果部分をがっちりサポート！



- 数学領域 さきがけ (連携相手の模索)
- 文科省数学連携WS(議論の場の支援)

- Kavli IPMUなどWPI
- 数学領域 CREST (チーム型)
- その他異分野融合型研究資金

※萌芽研究(科研費)は分野間連携ではない

先端数学連携ユニット(案)

先端数学連携ユニット(拠点形成の試金石)

場所: 大学内の一室を間借り (40~50m²)

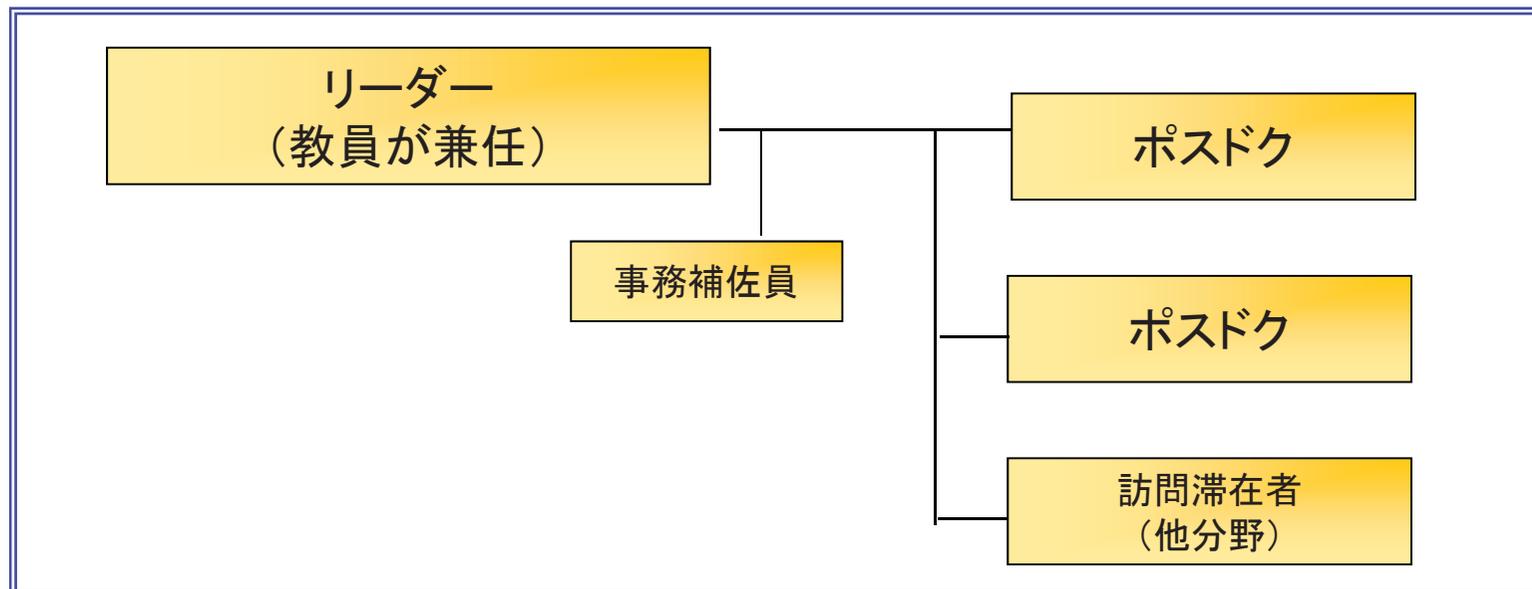
規模: 研究室よりは小さいレベル

期間: 5年間

目標: **少数精鋭**のチームで連携萌芽から**具体的な成果**を出す!

実践的なノウハウを蓄積

(萌芽→成果 の過程で**本当に必要な支援体制**を判断)



ユニットの活動内容(案)

1. 研究活動

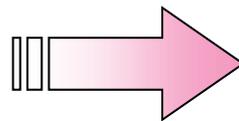
- ・課題を深く掘り下げて数学的定式化; 堅実な成果(+個別の研究)

2. 分野間連携に向けた活動

- ・連携のための異分野間研究集会や勉強会のオーガナイズ
- ・活動の宣伝(HP作成やML流す)と多大な事務作業
- ・国内の学生の啓蒙と育成 → 新たな人材発掘へ

3. 実践的なノウハウ蓄積と共有

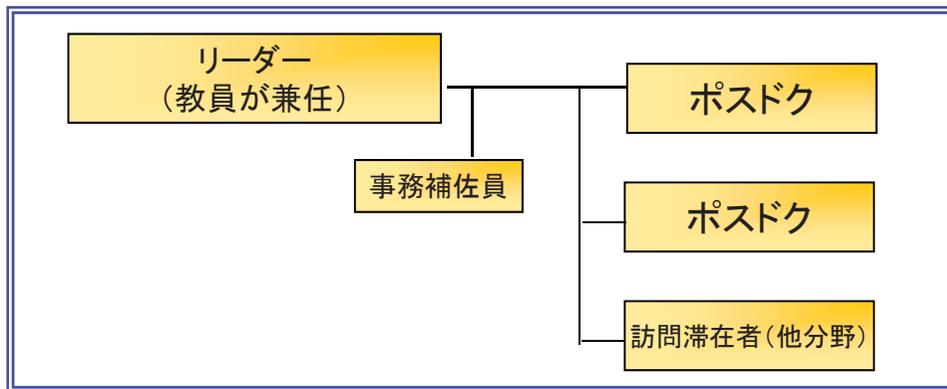
- ・年1回の活動報告と現場からの提言(数学イノベーション委員会)
- ・関連組織から収集&連携ノウハウの文書化



ユニットの活動内容(案)

リーダーの負担軽減の施策

1. 学内の雑務軽減(大学側に別途 奨励費用)
2. 「特任」ではなく兼任 → 任期後半の就活など精神的負担の軽減
3. 研究集会関係の仕事の軽減(事務補佐員)
4. 研究全般に関してチームで取り組む(PD 2名)



参考:

1. Kavli IPMUのH19年度評価コメント(http://www.jsps.go.jp/j-toplevel/data/08_followup/Comment_j_Tokyo.pdf)
と東大の対応
2. テニュアトラック普及・定着事業 (<http://www.jst.go.jp/tenure/>)
3. 科学技術振興機構さきがけ (<http://www.jst.go.jp/kisoken/presto/>)

予算(試案)

予算の例:

1600万/年(PD 2人雇用時)

リーダー 1名(教員兼務) 報奨金10万/月	120万/年
事務補佐員 1名(半日勤務×週3日)	80万/年
ポスドク 2名 400万/年 ×2	800万/年
間接経費	300万/年
雑務軽減の奨励費	300万/年
合計:	1600万/年

1. 雑務軽減の奨励費 = リーダーの学内の役職に応じた、雑務を減らすための資金
(用途は大学側で決める。例:非常勤講師の雇用や事務補佐員の追加など)
2. 金額はテニュアトラック普及定着事業 1人当たり と同程度
3. その他の経費は教員個人の研究資金 (自分で稼げるタフな人材育成!)
4. 他分野からの滞在は先方負担 (例:実験物理の院生が現代的な統計理論を教わる)

先端数学連携ユニットがもたらすもの

個別の連携研究の成果に加えて

1. 全体を俯瞰した組織的な連携活動の**実践的なノウハウ**
2. 将来の本格的な数学拠点の**設計図と支援体制の具体案**
3. **本気で**異分野連携に取り組める**タフな人材の育成**

新しいタイプの連携研究を支援する体制 が皆無の現状では

数学・数理学系の研究者、学生にとって**希望の灯！**

連携を凍結かそれとも推進か？

1年の遅れ 取り戻すには3年以上

