

実験の副産物と実験の連動

鈴木 秀憲(名古屋大学 情報科学研究科)

ICEPPシンポジウム@長野 2012/2/21

私は何者か

- 物理屋ではなく科学哲学者です

前回のICEPPでも発表させていただきました
「OPERA実験に見る実験の方法論」

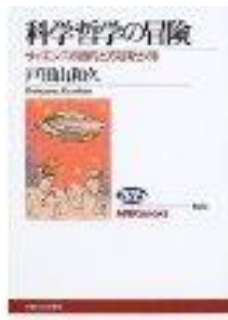
→科学哲学って何？

認識論：知識の本性、知識獲得の方法とは？

科学哲学とは

科学哲学の問題意識

- ・科学理論とは何か(文の集まり?モデル?)
- ・科学的説明とは何か(原因の特定?統合?)
- ・境界設定問題(科学と疑似科学を分けるものは?)
- ・科学的实在論論争(理論が措定しているが観察不可能な対象の存在を信じる理由はあるか?)



実験の哲学の勃興

伝統的な科学哲学(論理実証主義～クーン)
においては実験が実際にどのように行われているか
はほとんど注目されてこなかった。(理論偏重)

その傾向が80年代、新実験主義者と呼ばれる人
たちによって見直されてきた。

Hacking(1983) 実験の理論からの独立性、介入実在論

Franklin(1986) 実験の認識論

: 実験結果への合理的信念を与える戦略の研究

科学史の事例など文献研究が主

私はなぜここにいるのか

- 2009 名大・科学哲学研究室と地球惑星科学者たちとの研究会「新しい科学哲学をつくる会」の誕生

某ご年配の先生

「哲学者は分かっていない、役に立たない、面白くない」

名古屋大学・F研のOPERAの解析施設見学

→若手同士の交流から密着することに

(科学哲学が悪く言われるのも無理はない)

新しい科学哲学をつくる

- 現場からボトムアップ的に新しい科学哲学をつくる
科学の実態をとらえ、科学者の役に立つ、
少なくとも面白がってもらえる科学哲学を！
まず素粒子物理学実験を対象に

知識としての科学

社会的活動としての科学
(限られた金・時間・マンパワー
の中で行われている)

その関係を探る

私の日々の活動

観察 & 質問



雑用(アクリル板を削る)

科学者たちに密着

実験家からの聞き取り
実験作業の観察・手伝い
研究室会議への出席
解析ビデオミーティングへの参加
日本物理学会への同行
セミナーへの参加

約200時間
約30時間
12回
1回

まだまだ足りない！
ようやく研究のタネになりそうなものが
いろいろ見えてきた



問題意識

なぜ実験の副産物は得られるのか？

実験は主目的に絞って設計されるもの(最適化)
実験は副産物(=主目的とは別の結果)をしばしば出す。

どうして出てくる？

→ 1.実験の副産物

副産物は実験の進む方向性にどのように影響するのか？

→ 2.実験の連動

科学の偶然性

「もう一度科学をやったとして今と同じ物理体系に行きつくか？」

1. 実験の副産物

- 副産物的結果: 主目的とは別の結果(ゆるい定義)

副産物を得るかどうかは決して瑣末な問題ではない

- 副産物はしばしば新しい物理を切り開く

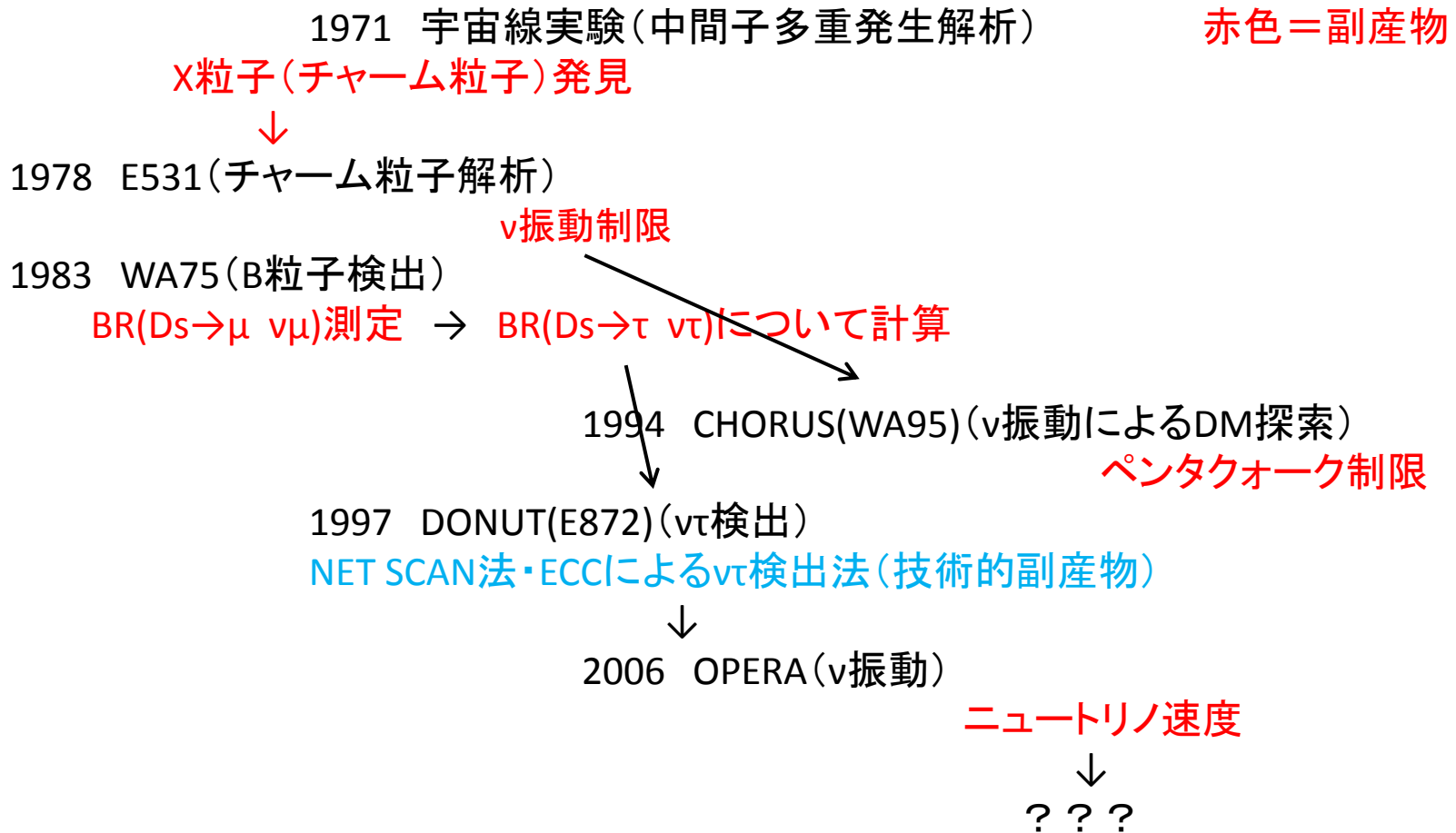
カミオカンデ

陽子崩壊→超新星ニュートリノ・ニュートリノ振動

- 副産物は研究グループの進む方向を左右する

名大・F研の場合 → 図

副産物の影響 (F研の場合)



副産物が研究グループの次の実験を規定している側面

1.実験の副産物

- 実験は主目的に絞って設計されるもの
なぜ副産物は得られるのか？

全く想定外の出来事？

→事例研究

事例1: WA75 (B粒子検出実験)

- 副産物としてDs完全レプトン崩壊 $BR(D_s \rightarrow \mu \nu_\mu)$ 、 $BR(D_s \rightarrow \tau \nu_\tau)$ を得る

リーダーがB粒子の結果を他大学の特別講義で報告

→理論の専門家から質問を受ける

「こういう崩壊様式のものは見つかっていないか」

→リーダー(面白い、解析で注意しよう)

→後日研究室会議で大学院生が「分布の端が変」と報告

→リーダー(完全レプトン崩壊そのもの!)、つめるよう指示

→ $BR(D_s \rightarrow \mu \nu_\mu)$ 測定

→ $BR(D_s \rightarrow \tau \nu_\tau)$ について計算

- 意図せずDs崩壊率を測定できるセットアップになっていた
- 分布の異常に気付いた
- 理論の専門家の話を聞いてなければ見つからなかった

事例2: OPERA (ニュートリノ振動実験)

- ・副産物としてニュートリノの速度が光速よりも速いという結果を得る
 - 2006,2007 OPERAテストrun
 - 2007 MINOS実験がニュートリノ速度について結果
 - 2008 OPERA本格開始
 - 2008 振動以外の方法による質量(上限値)測定を目的とした
ニュートリノ速度測定のためにGPSをアップグレード
- 2011 予想外の結果を得る
- ・ ν 振動検出のため長基線(730km)→速度測定
- ・ニュートリノ速度を精度良く測るために意図的にアップグレードした

なぜ副産物が得られるか

- 副産物は全く想定外の出来事というわけではない
- 副産物を得るのに必要な条件
 - (1)実験のセットアップの複合性
 - 主目的に絞って設計したつもりでも、そのまま複数のことを試すことになっているか、微修正すれば他のことを試せるようになっている。
 - (2)実験家の注意力
 - (1)に気付く
 - 副産物的データに気付く

副産物を得る条件の含意

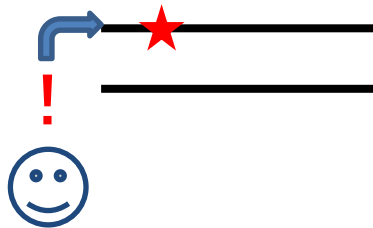
(2)実験家の注意力



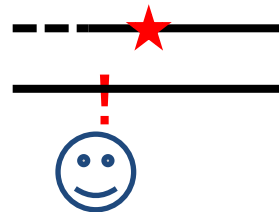
- 主目的とは別の視点で実験を見る目がないければ副産物を見逃す可能性がある
- 実験家の気付きの段階に応じて副産物がいつ得られるかが左右される
(デザイン前、デザイン後、
データ取り、実験終了後)

気づきの段階

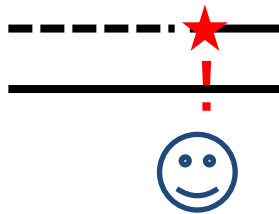
(a) デザイン前



(b) デザイン後



(c) データ取り



(d) 実験終了後



(「(e) 気付かないまま」という可能性も)

副産物獲得の偶然性

ある実験が副産物的結果を得るか、いつ得るか、
というのは

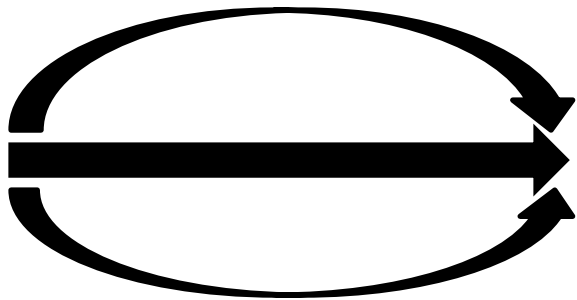
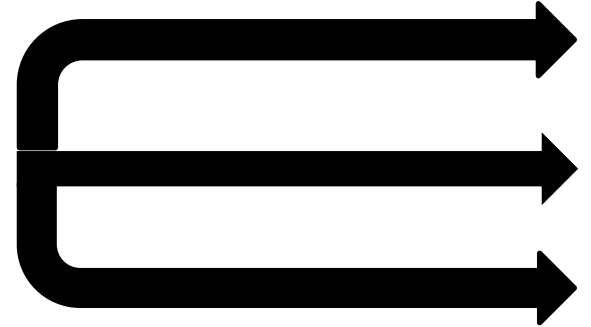
- ・どのような実験デザインになっているか
 - ・実験家がどの段階で注意力を発揮するか
- といった偶然的要因に左右される

科学の偶然性の問題

Pickering(科学社会学者):
クォークを想定しないが同様に
成功的な(successful)物理もあり得た

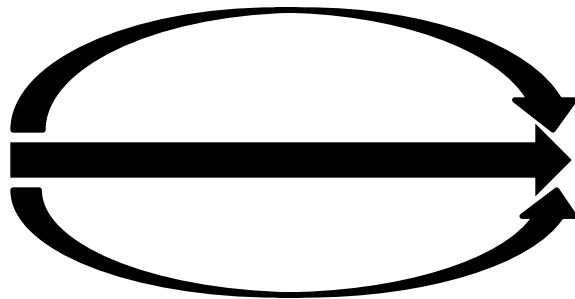
ワインバーグ:
異星人もわれわれと同じ法則を発見するだろう

経路はさまざまあり得ても
行きつく先は同じ



二つのモデル

A 収束モデル



B 非収束モデル



Aはどのような経路をたどろうと

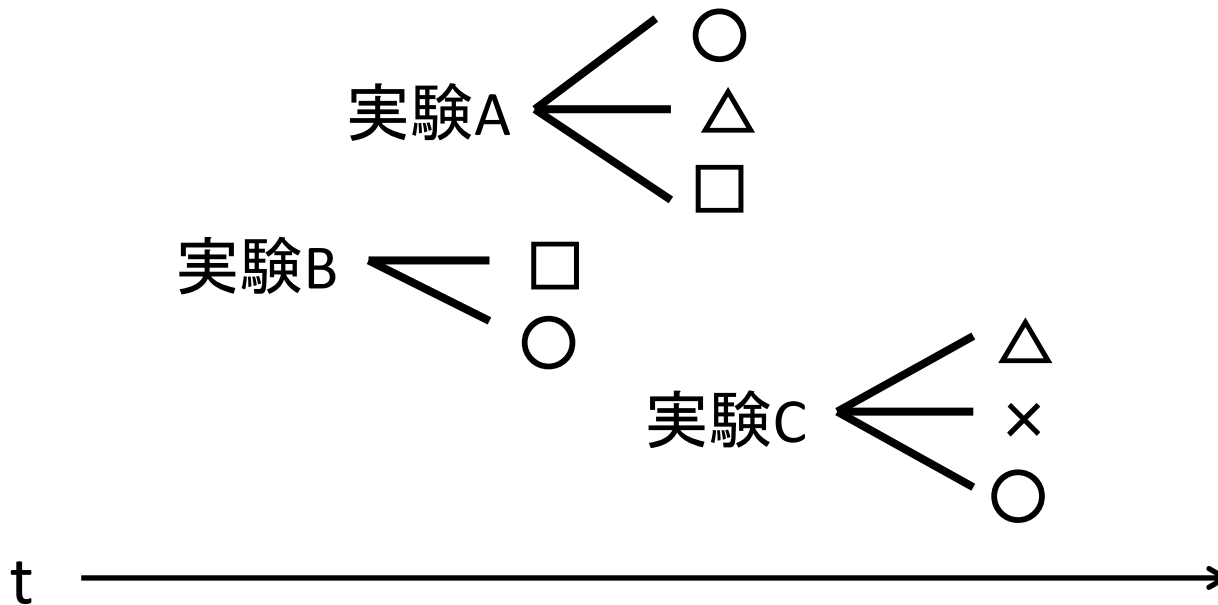
(おそらくは自然による制約によって)

最終的には一つの世界像に行きつくと考えられる。

Bはそれを否定する。(同様に成功的な等値でない理論)

2.実験の連動

- 実験は複数のことを試せるようになっている
+
- 複数の関連する実験が並行して走っている



ニュートリノ振動実験(一部)の場合 (かなり大雑把)

○ $\nu_e \leftrightarrow \nu_\mu$ □ $\nu_\mu \rightarrow \nu_\tau$ △ ν 速度

MINOS ◀ △
○

OPERA ◀ □
△

T2K ◀ ○
△

Double Chooz — ○

ICARUS ◀ □
×
△

t →

偶然性 for & against

- 複数のことを試せるようになってきている実験が複数相互に関連しながらはしているということから

(1) 科学の偶然性を強調する議論

(2) 科学の偶然性を弱める議論

(= 科学の発展のロバストさ(頑健さ)を支持する議論)

両方の議論が可能

(1)科学の偶然性を強調する議論

「そもそもある実験が副産物的結果を得るか、そしていつ得るかは偶然的(実験デザインや実験家の注意の発動タイミングに依存する)。

さらにある実験(A)が意外な副産物を出すと、関連する実験(B, C)がそれを検証するためにリソース(マンパワー、時間、金)を割くか否か判断を迫られる」

ニュートリノ速度 ICARUS, Borexino
MINOS, T2K ?

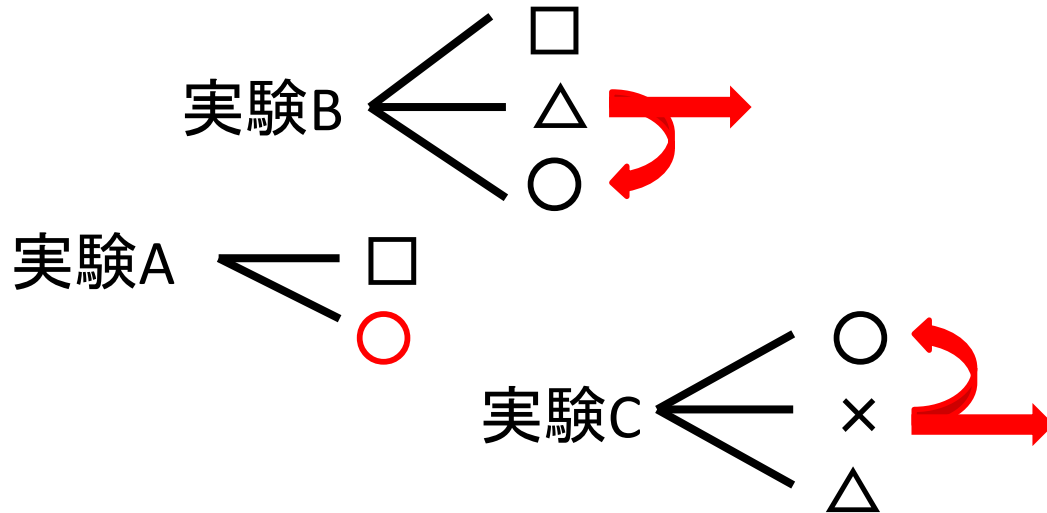
(1)科学の偶然性を強調する議論 (続き)

「関連実験(B, C)が他実験(A)の検証にリソースを割けば(実験の連動)、その実験(B, C)の主目的は予定通り達成されない可能性がある。他方、関連実験(B, C)が主目的を追究すれば他実験(A)の副産物的結果はそれだけ十分に検証されないことになる。」

→科学の方向性のさまざまな可能性

科学の方向性の様々な可能性

t 



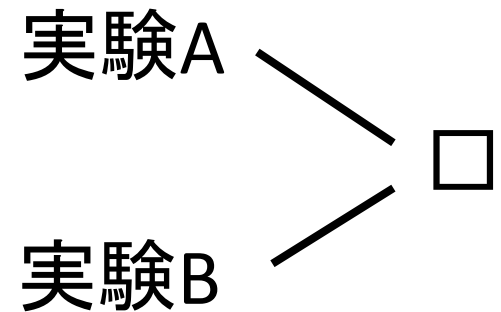
連動するかしないか、どの実験が連動するか

(2)科学の偶然性を弱める議論

「同じことを確かめられる実験が複数存在することになっている。

いわば自然に対して複数の網がはられている。

ある実験が見つけなくても
他の実験が見つかるだろう。」

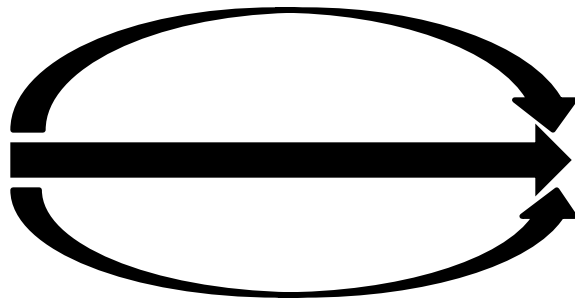


考察

- 他の実験でカバーできたとしても
発見の質や時間には差が出る
「〇〇実験がなかったら・・・」
- 違った時間に発見される可能性
→ 違った順番で発見される可能性

二つのモデル

A 収束モデル



B 非収束モデル



どちらが正しい？

本発表では結論できないが、いくつかの示唆を。

知識獲得の順序の非可換性

- 収束と非収束どちらがもっともらしいかにとって重大であると考えられる問題

「事実が発見される順序は
知識体系の構造に実質的な影響を与えるか？」



→さらに調査したい(理論の要素)

タイムスケールの重要性

- 「知識獲得の順序の非可換性」にとって
タイムスケールが重要

数年、数十年、数百年

数十年のタイムスケールでの大きな変化
「それを超える時間の前後があると無視できない
可能性の分岐が生じるのではないか？」

→他の要素の見積もり

科学の偶然性に関わる他の要素

- ・理論 その理論家がいなかったらどうか、数学
- ・技術的副産物 次にどの実験が可能か
- ・産業・軍事 どのような道具・技術が入手可能か
OPERA 約1000万枚の原子核乾板
- ・政治的問題(経済、戦争)
実験が可能な社会的状況か
- ・さまざまなトラブル(加速器、検出器)
- ・発表のタイミングの問題 $2\sim 3\sigma$ で

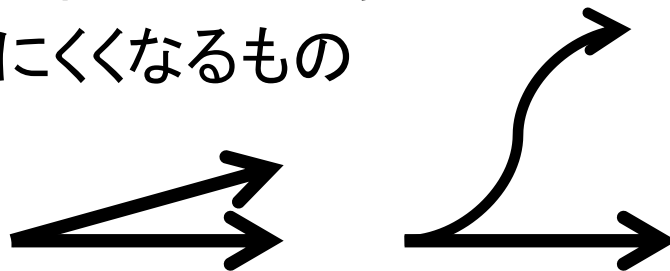
分岐点はあなたのすぐそばに・・・

- ・個々の実験家として 注意力
- ・研究グループとして 方向性
- ・物理コミュニティとして 国際リニアコライダー
- ・科学として 基礎物理へのリソース

非収束モデル: ある経路からは見えなくなるもの

収束モデル: 見えにくくなるもの

程度の問題



原理的に収束するとしてもあまり遠くに行くと

人類生存中に帰って来られないかもしれない・・・

まとめ

- 副産物の発見には実験デザインの複合性と実験家の気づきが必要
- ある実験が副産物的結果を出すか、いつ出すかは実験家の気づきに応じて偶然的である
- 実験が連動するか否か（他さまざまな要因）による発見時間の前後を考えると発見の順序にはさまざまな可能性がありそう
- 科学の可能な行き先が収束するか否かにとって知識獲得の非可換性が鍵になる

課題・展望

- さらなる他実験の調査
F研以外(次は?)、素粒子物理以外
- テーゼの検証(実証的方法の開発)
やりようはいろいろあるが...
- 伝統的な科学哲学のテーマとの関係
「科学の進歩」「理論と実験との関係」
- 物理学の勉強

聞いてみたいこと

副産物的結果を(できるだけ早く)得ることは望ましい

新発見の可能性、主目的が達成できなかったときのバックアップ
→副産物発見の方法論は？

- 方法論さまざま(個人として、グループ運営として)
主目的絶対派 「よけいなことは考えない」

vs

副産物奨励派 「いろいろ考えて面白いと思うことには積極的に手を出す」

私見:主目的に絞りながら周囲の情報に鋭敏であること

(「あの研究に自分の技術を使ったら・・・」、

「自分の研究に利用できないか・・・」)

→狭い研究グループに閉じずに広く交流する環境が必要

ICEPPは素晴らしい場だと思います(来年もよろしくお願いします)

ご清聴ありがとうございました



文献

- T. Adam et al., “Measurement of the neutrino velocity with the OPERA detector in the CNGS beam ,” [arXiv:1109.4897 [hep-ex]].
- Agafonova,N. et al., the OPERA Collaboration(2010)”Observation of a first ν_τ candidate event in the OPERA experiment in the CNGS beam”*Physics Letters B* 691 138-145.
- Franklin,A.(1986)*The Neglect of Experiment*.Cambridge:Cambridge University Press.
—Experiment in Physics. *The Stanford encyclopedia of philosophy*.
<http://plato.stanford.edu/entries/physics-experiment/>
- Galison,P.(1987)*How Experiments End*. Chicago:University of Chicago Press.
- Guler,M. et al., the OPERA Collaboration(2000)”An appearance experiment to search for $\nu_\mu \rightarrow \nu_\tau$ oscillation in the CNGS beam, Experiment proposal”*CERN-SPSC-2000-028*, CERN-SPSC-318, LNGS-P25-00
- Hacking,I.(1983)*Representing and Intervening*. Cambridge:Cambridge University Press.
ハッキング『表現と介入ーボルヘスの幻想と新ベーコン主義』産業図書 渡辺博訳
- Hacking,I.(1999)*The Social Construction of What?* Harvard University Press.
ハッキング『何が社会的に構成されるのか』岩波書店 出口康夫 久米暁訳
- Latour,B. and S.Woolgar(1979)*Laboratory Life:The Social Construction of Scientific Facts*. Beverly Hills: Sage.
- Pickering,A.(1984)*Constructing Quarks*. Chicago:University of Chicago Press.
- S. Aoki, et al., the WA75 Collaboration(1993)”Observation of the Muonic Decay, $D_s \rightarrow \mu \nu_\mu$ ”*Progress Theoretical Physics* Vol. 89, No. 1, 131-138.

補足

前回頂いたご指摘(1)

- 「役に立つアピール」が必要
(現場を見せてもらうためにも)
 - (1)個人にとって
実験の位置づけはキャリアや成果に関わる
 - (2)グループにとって
マンパワーの配分、人の育て方(方法論)
 - (3)社会にとって
科学のダイナミクスの理解は
「よりよい科学」への第一歩(リソースの分配)

前回頂いたご指摘(2)

- 一般化のための評価システムをつくるべき

(1) インタビュー法、バイアス

はじめから客観性を求めない方が
深い分析をできる

人によるズレ、なぜ？→多面的に見れる

(2) 変項(variable)の値として数値化

多くの事例を分析する以外の方法？

変更の値として数値化

- 一例から仮説形成
一つの事例を記述しているわけではない
ある事態を生んでいる要因(パラメータ)を
分析している。
それぞれの要因の大小に応じて
他の事例を説明する余地が生まれる。
(歴史科学からのヒント)

(副産物発見の方法論)

- 「メインの目的とは別の目的を追求する人・グループをつくる」

複数の「先入見」がプラスに働く

(副産物発見の方法論)

- DONUT実験

その実験にどのように関わるか、
実験家の思惑はそれぞれ

主目的(official) $\nu\tau$ 検出

個人的思惑

DONUTの責任者 ダークマター探索

アメリカのある研究者 中性の重いレプトン

$\nu\tau$ が予想以上に困難→主目的に集中
再解析したら何か見つかる可能性も？

(副産物発見の方法論)

- 反対意見

グループを分割することは力の分散

デザインもグループの目的も一つに絞る

新しいことをやれば意外なことが必ず起きる

そのうちのほとんどはトラブルだが副産物もある

そこでの実験家の対応能力が問題

マンパワーの使い方としてはこちらの方が合理的

(副産物発見の方法論)

- いかにして個々の実験家の反応能力を養うか？
 - 個人として
 - 学会で他の実験の発表を聞く(何か使えるものないか)
 - 集団のマネジメントとして
 - ブレインストーミング
 - 多様なメンバーで構成する
 - 研究室外の物理屋(実験、理論)
 - 別の分野の科学者
 - 非科学者

聞いてみたいこと(2)

- なぜそのタイミングで発表したのか？

2010/5/31 OPERA(first $\nu\tau$)

2011/6/15 T2K

2011/6/30 MINOS

2011/9/23 OPERA(neutrino velocity)

2011/11/9 Double Chooz

2011/12/13 LHC

「経過報告は当然の社会的義務」or「不確かな段階で発表するのは・・・」

政治的要因(ライバルを意識)や経済的要因(資金の問題)も？

あたかも「発見」であるかのように見なし、
誤った方向に進むことはないか

聞いてみたいこと(3)

- 国際リニアコライダー

つくるべき？

リソースの配分

加速器大規模実験の良悪

日本に誘致すべき？

文化の問題

社会的状況