

確実な知識

不確実性

社会が知りたい科学：科学の不定性

2012年3月25日

日本物理学会@関西学院大

平田光司

総合研究大学院大学

1 はじめに: 科学の确实性

霊的、シャーマンの知識(神のお告げ)とかイデオロギー的知識(ゲルマン科学、日本的科学など)などと比較して「科学的知識」は確かで信頼できる。

社会の基盤でもある。

擬似科学

異論による世論かく乱

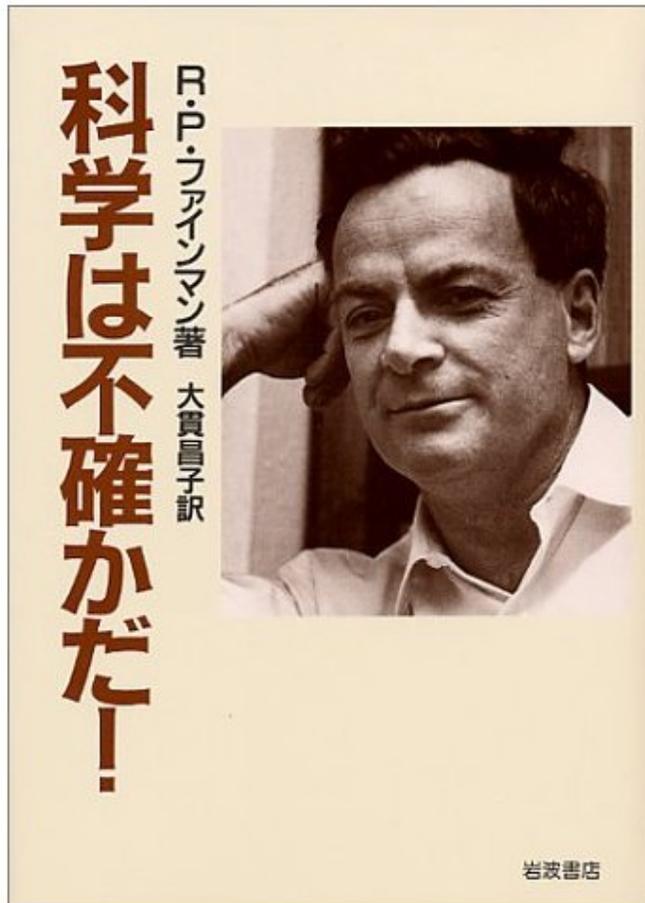
隠蔽

捏造



このような「けしからん非科学、反科学」が問題のすべてでは無い。

2 科学の不定性



科学知識は「完全に確実」では無い。

反証可能性(Popper)

(系統的)懐疑主義(Merton)

決定不全性

予測不能性(カオス)

論文の源泉

2.1 不定性の階層

- 教科書的知識: 確立された知識。必ず答えがある(数学と同じ)。(社会は科学がこのようなものだと思っている?) 覆ることもあり得る。
- 作動中の科学: 現在研究中。いずれ(いつかは) 確立されると期待される。今は不確実。
- 科学では答えられないもの。(社会はそのようなものは無いと思っている?)

2.2 トランスサイエンス

Trans-Science:

科学の言葉で問うことはできるが、答えることのできない問題群

A.M. Weinberg, "Science and Trans-Science", Minerva, vol.10, 209-222 (1972)

Director of Oak Ridge National Laboratory 1955-1973

- 小林傳司「トランス・サイエンスの時代」

■第1の例:(**超低確率の事象**) 低レベル放射線被曝による生体効果

低レベル放射線によるねずみへの生殖影響。高い放射線レベルによる実験では、X線によって自発的突然変異率が倍になる放射線量は30レントゲン(R)である(≈300mSv)。もしX線による遺伝的な影響が線形なら、0.15R(1.5mSv)の放射線量によってねずみの自発的突然変異率は0.5%増加する。実際の実験で95%の信頼度(Confidence level)で確かめるには80億匹のねずみを必要とする。

この数字は大きすぎて、實際上、この質問に科学的に答えるのは無理である

■ 第2の例:(低確率+多様性)非常に稀有なイベントの確率

非常に起こりにくい事象。例えば、原子炉の大災害とか、フーバーダムを決壊させるような大地震など。原子炉の大事故では各枝が何らかの要素の故障に対応しているもっともらしい事象系統樹(event tree)を作る。それぞれの要素の信頼性は多くの場合、知られている。しかし、その計算はあきらかに疑わしい。

まず、そのような計算から得られる確率は非常に小さいたとえば、 10^{-7} /reactor/year。確率は非常に小さいので、この故障率を実際に確かめる方法は無い。つまり、1000の原子炉を作って10,000年間運転し、その運転記録を調べなければならない。(この点は第1の例と同様。)

さらに、可能性のあるすべての原因が考えに入っているという保証は無い。

■ 第3の例(多様性+無知)

トランスサイエンスとしての技術

技術に「不確定さ」はつき物だ。本物を作る前にフルスケールの試作品を作って、実際に起きるであろうすべての状況でテストするので無いかぎり、新しく、まだ試みられていない状況への外挿は常に起きる。作る装置が小さいものであれば、普通、フルスケールの試作品が作られる。しかし巨大なもの、たとえばアスワンハイダムや100 MWのプルトニウム増殖炉、大きな橋だと、フルスケールの試作品は問題外である。

・ さらに、そのような装置が稼動するのは100年のスケールである。例えば試作品が作られたとしても、実際の建設を始める前に試作品に弱点が無いか確かめるまで待つということは意味がない。(一発勝負)

・ **先端巨大技術** では事前には(建設後も)完全には答えられない(「想定外の」)科学的な不確定性がありえる。この意味で先端巨大技術はトランスサイエンス的。すくなくとも、トランスサイエンスの要素を持つ。

■ 第4の例
社会科学

■ 第5の例
科学の価値論

第5の例はWeinbergの矛盾

認識論的に言って事実に関する問いであって、科学の言葉によって表現されるとはいえ、科学によって答えることはできない問題。

科学の共和国 < トランス・サイエンスの共和国 < 政治の共和国

■ Uncertainty Matrix

Andrew Stirling “Keep it complex”, Nature vol.468, pp.1029-1031(2010)

Risk (確率で適切に評価できるもの)(ノーマルサイエンス)

Uncertainty (確率の評価が困難なもの)第1種のトランスサイエンス

Ambiguity (何が問題か意見が分かれるもの)第2種のトランスサイエンス

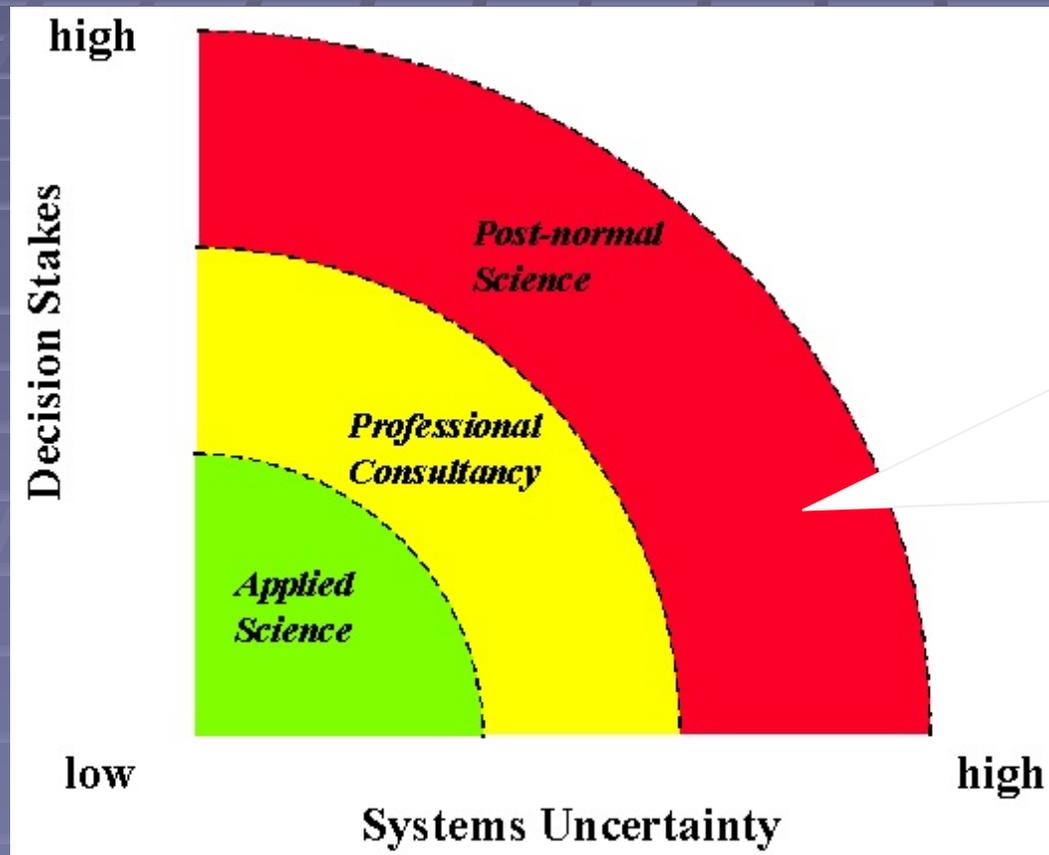
Ignorance (何が問題か自体分からないもの)第3種のトランスサイエンス

Risk	Ambiguity (第2の例)
Uncertainty (第1の例)	Ignorance (第3の例)

「リスク論」は
ここ。確率の数
値を問題にする。

■ Post Normal Science

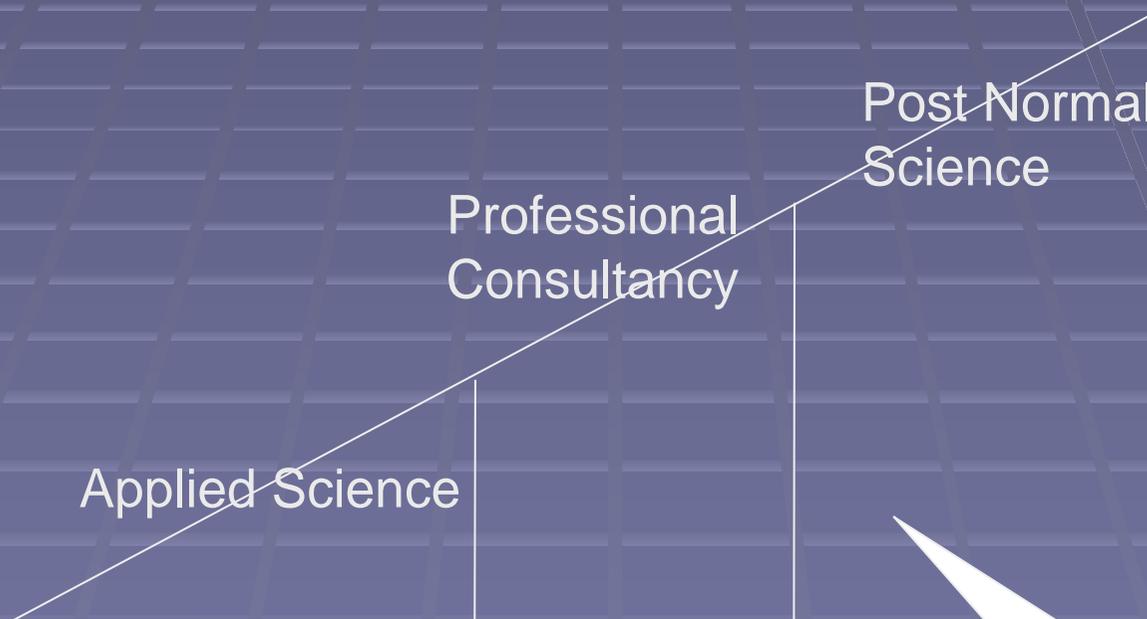
ジェローム・R・ラベッツ(著)御代川貴久夫(訳)「ラベッツ博士の科学論- 科学神話の終焉とポスト・ノーマル・サイエンス」こぶし書房 (2010)



システムの不確
実性とステークス
が高い時には
「専門家の知識
がベストである」
ということは仮
定できない。

システムの不確実性 v.s. 決定のステークス(決定における利害関心)。

決定のステークス



システムの不確実性

無知の自覚
拡大ピアコミュニティ

3 科学の不定性への対処

- 科学の不定性は科学においては論文の種であるが、実社会ではそうもいかない。例えば、法廷では、不定性のあるなかで何らかの決定(判決)を出さなければならない。似ているのが**先端巨大科学**。
- 科学の不定性が原因となって、社会的な利害、価値観などが「**工学的判断**」として入ってくる。対処の仕方プロジェクトの成功、失敗が決まる？
- 「**専門家**」をふくむ広範な「**拡大ピアコミュニティ**」による**熟議**

3.1 アポロ計画とチャレンジャー

平田光司「**ファイマンが見た巨大装置の安全性**—原発への示唆」
岩波「科学」2011年9月号pp.914-917(2010)

頻発する「吹抜け」寸前状態。

このリスクをどう評価するか。

同様の事態がエンジン、その他にも。

現場の技術者とマネージャーの危機意識の差。

事故が無いのが安全性の証拠。(ロシアンルーレット)

科学の不定性を利用した技術的居直り

低確率の事象

班目(1:対策不能)「・・・非常用ディーゼル2個の破断も考えましょう, こう考えましようと言っていると, 設計ができなくなっちゃうんですよ。つまり何でもかんでも, これも可能性ちよっとある, これはちよっと可能性はある, そういうものを全部組み合わせていったら, ものなんて絶対造れません。だからどっかでは割り切るんです。」(中略)

弁護士「・・・非常用発電機2台が同時に動かないという事態自体は, 大きな問題ではないですか。」

班目(2:対策不要)「非常用ディーゼル発電機2台が動かないという事例が発見された場合には, 多分, 保安院にも特別委員会ができて, この問題について真剣に考え出します。事例があったら教えてください。ですからそれが重要な事態だということは認めます。」

不定性への居直り

NASA が月にロケットを飛ばそうとしていた(**アポロ計画**)あの一時期には、みんなが熱意に燃え、なんとかしてその目標を達成したいという気持ちがみなぎっていた。……とにかくみんなが力を合わせ、努力を惜しまなかったのだ。こういうことに思い当たったのは、戦時中ロスアラモスで皆が一丸となつて**原爆**を作るための努力をしていたときの、あの緊張と緊迫した気分を自ら経験しているからだ。

R. P. ファインマン著, 大貫昌子・江沢洋訳: ファインマンさんベストエッセイ, 岩波書店(2001)中の「スペースシャトル『チャレンジャー号』事故少数派調査報告」

アカデミズム

ロスアラモスに着いた時、私が驚嘆をもって見
い出したのは、はっきりと定まった 実際的な計
画について仕事している技術者ではなく、抽象
的な推論を討論している数学者のグループを
思わせる環境であった。

S.ユーラム他、『フォン・ノイマン』、々木力『科学論入門』岩波新書(1996)より。

自動責任

フォン・ブラウンが率いていたころのマーシャル宇宙飛行センターには「**自動責任**」に代表される技術文化があった。それは、各技術部長は担当とは無関係に自分の専門がかかわるすべてのことに責任を負うというもので、これに加えて全員が計画全体の進行状況と問題点を把握し、技術的な決定も全員が同意するまで、時間をかけて議論することになっていた。

佐藤靖:「NASA を築いた人と技術—巨大システム技術開発の技術文化」
東京大学出版会(2007)

熟議とリーダーシップ

3.2 高エネルギー加速器

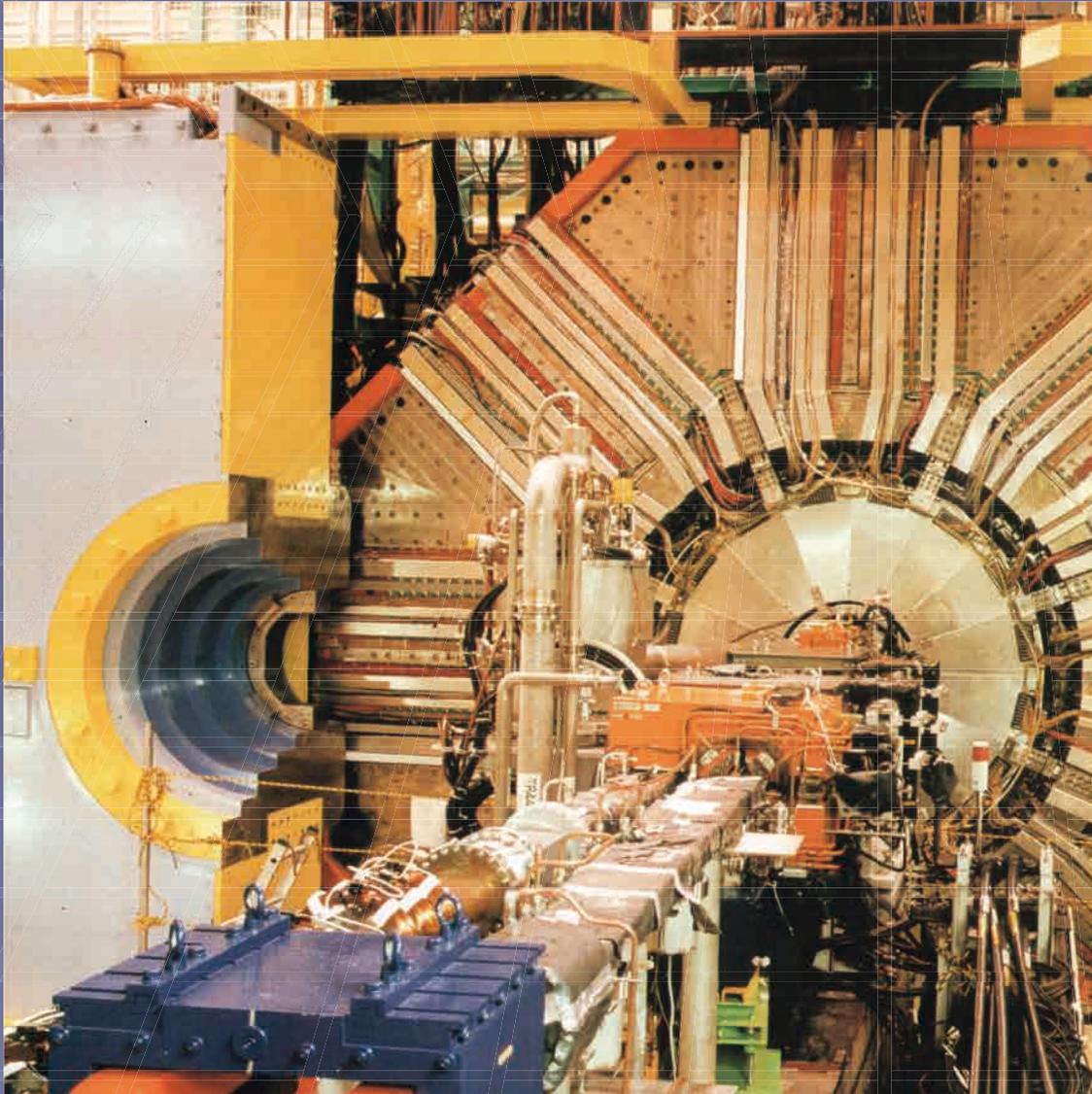


素粒子理論
高エネルギー実験
高エネルギー加速器

高エネルギー
物理学

社会

CERN提供



KEK B Factory

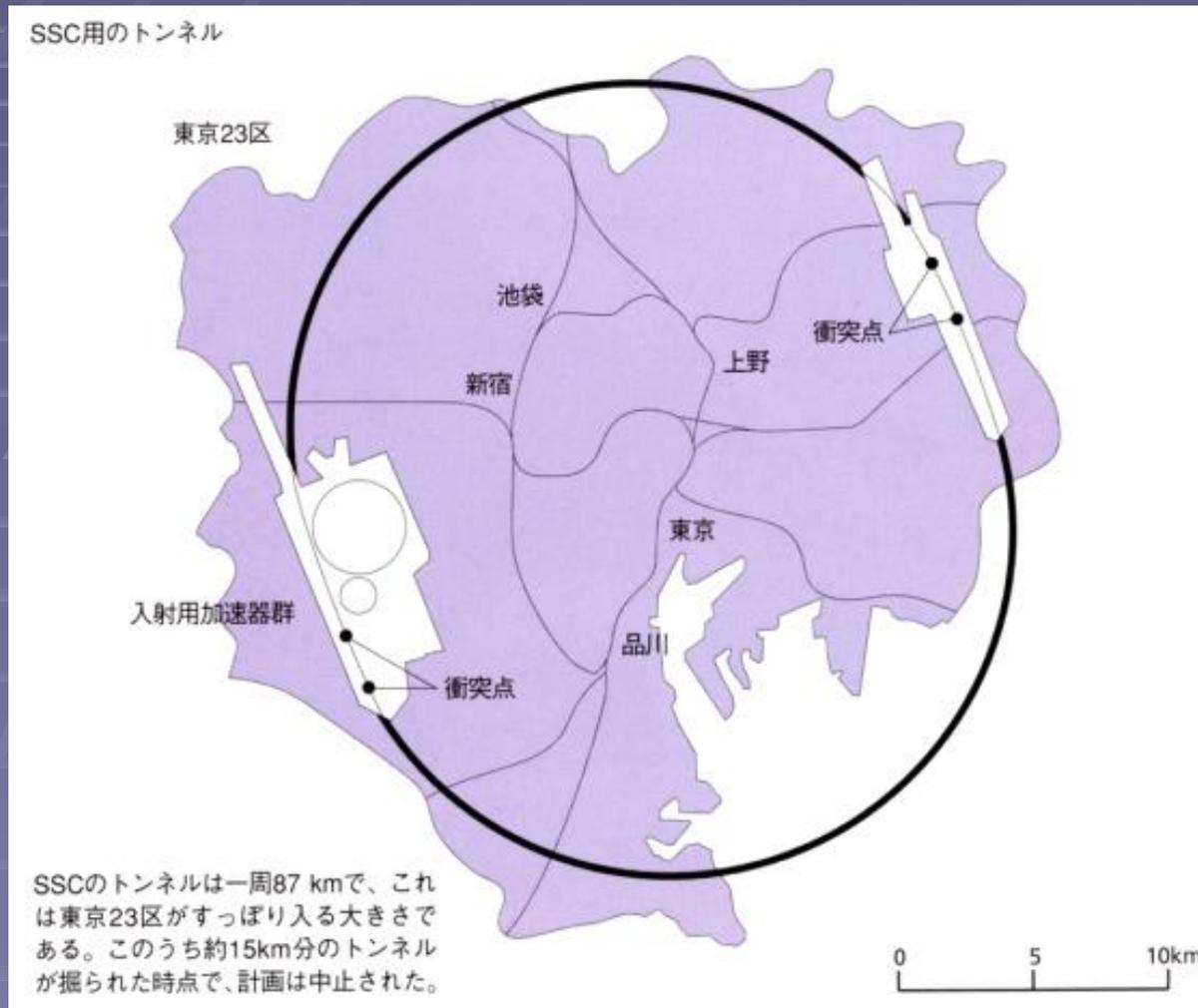
ビーム力学の最先端で人類未踏のルミノシティ

小林・益川理論の確証

有限交差角衝突という**タブー**の採用

開かれた、徹底的な議論。

SSC問題



Superconducting Super Collider

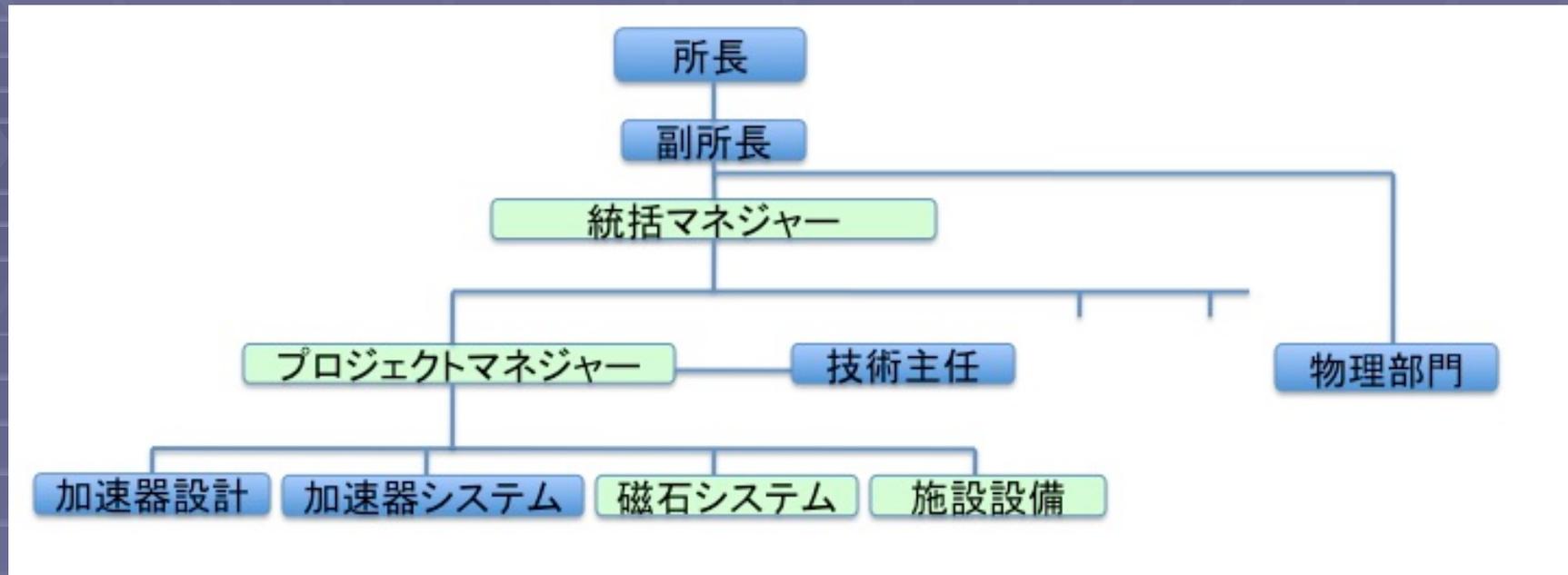
1986 概念設計(53億ドル)

1990 設計変更(83億ドル)

1991 建設開始

1993 中止

(予算増大)新アイデアの採用を見送り従来の手法に戻る。



議論無し、批判無し、思想無し。←「官僚主義的運営」

高木仁三郎「原発事故はなぜきりかえすのか」岩波新書(2000)

4 不定性への対処

- 科学の(本質的な)不定性の認識
- 熟議

非専門家の役割(専門家に任せない)

専門家は「居る」ものではなく「育つ」もの

広範な関係者の参加(コンセンサス会議)

「非専門家」を受け入れること

5 まとめ: 科学者の役割

- より良い知識を社会に提供するには。。。
- 科学の(本質的な)不定性の認識(無知の知)
「御用学者」尾内隆之、本堂毅「御用学者が作られる理由」岩波「科学」
2011年9月号pp.887-895(2010)
- 広範な関係者との熟議
- 自動責任(専門でないことへの関与)
- 学究的態度(系統的懐疑主義。不定性に居直らない)

社会のための科学≠科学のための科学

→教育、科学コミュニケーション、法廷、..

End

平田光司

hirata@soken.ac.jp