

原発事故と科学的方法 あるいは (物理)教育は何をめざすべきか、について

牧野淳一郎
理化学研究所
計算科学研究機構

2014/8/15 東京物理サークル合宿

スライド: jun.artcompsci.org/talks/index-j.html にあるはず

大体の話の順番

- 簡単な自己紹介
- 原発事故の概要の復習
- 科学的な態度I
 - － 放出された放射性物質の量
 - － 身の回りの空間線量
 - － 食品
- 科学的な態度II
 - － もうちょっと色々なこと

自己紹介

職歴

- 1990/4- 東京大学教養学部情報図形科学教室 助手
- 1994/4- 東京大学教養学部情報図形科学教室 助教授
- 1999/4- 東京大学大学院理学系研究科天文学専攻 助教授
- 2006/6- 国立天文台理論研究部 教授
- 2011/4- 東工大理学研究流動機構 教授
- 2013/4- 東工大地球生命研究所 教授
- 2014/4- 理化学研究所計算科学研究機構エクサスケールコンピューティング
プロジェクト副プロジェクトリーダー他

天文(天体物理)学者?

現在の主要な仕事: ポスト「京」スパコンプロジェクト(多分)

自己紹介(続き)

学歴

1985/3 東京大学教養学部基礎科学科第二卒業

1987/3 東京大学大学院総合文化研究科広域科学専攻修士課程修了

1990/3 東京大学大学院総合文化研究科広域科学専攻博士課程修了

- 学科名からはなんだか全然わからない
- 学部卒業研究: 1次元モデルでの温室効果のシミュレーション
- 大学院は杉本大一郎が指導教官。天体物理。

牧野って誰？(続き)

研究はどんなことをやってきたか

- 主に理論・シミュレーションによる天体形成・進化の研究
 - － 大規模構造の形成・銀河形成
 - － 銀河中心・球状星団の力学進化
 - － 惑星形成
- シミュレーションのための計算アルゴリズムの研究
- シミュレーションのための計算機の開発

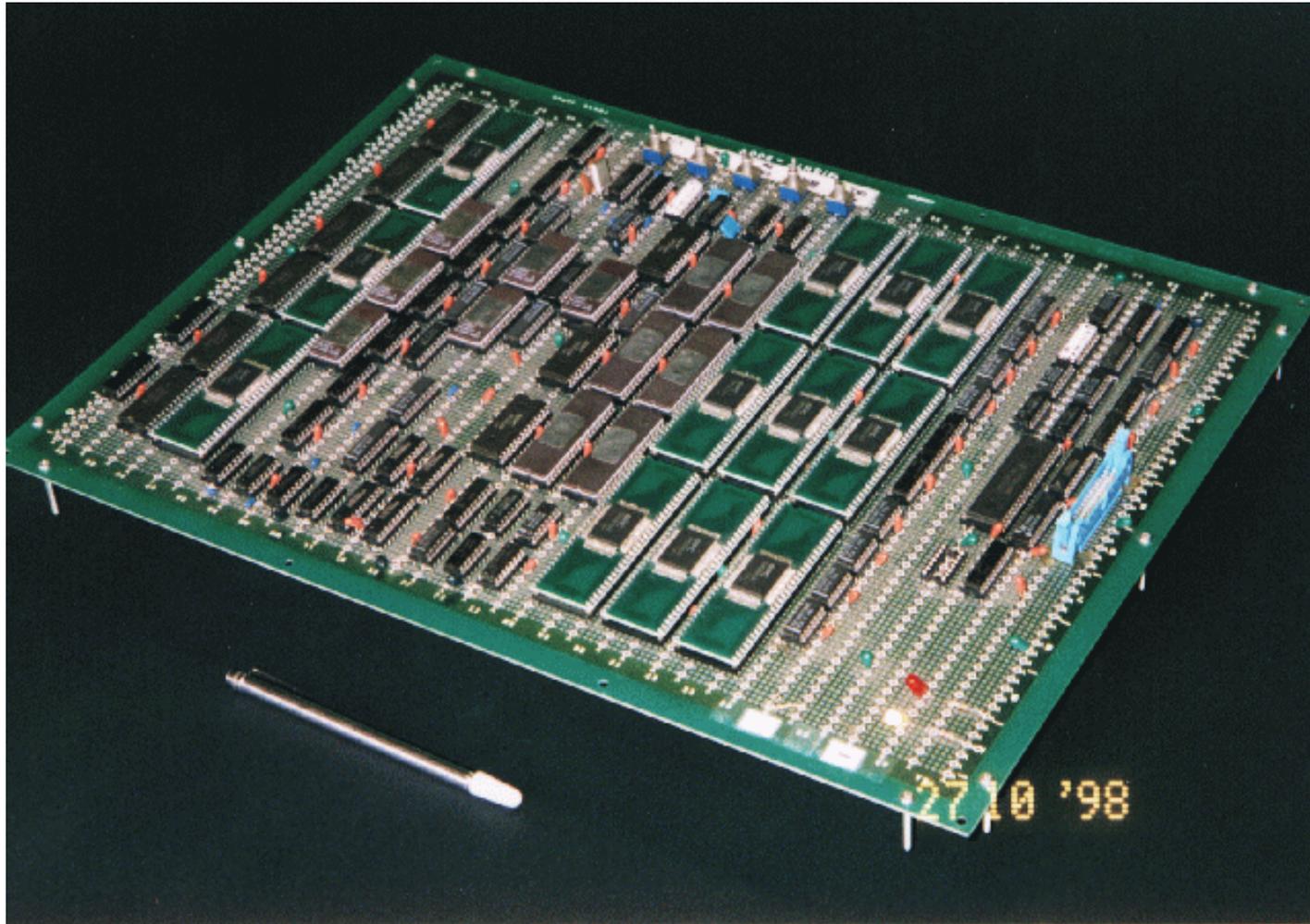
銀河合体

計算機開発

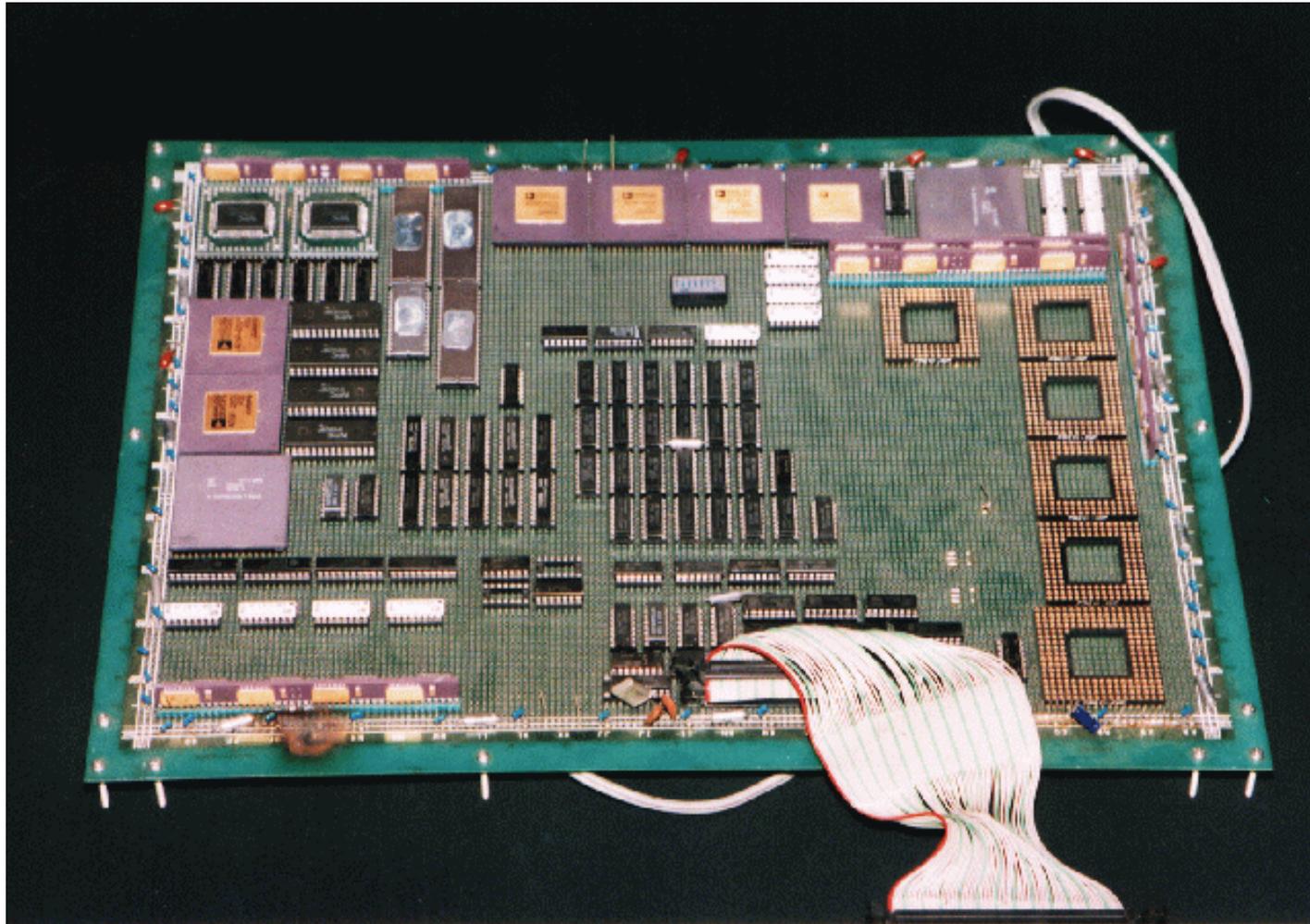
20年くらいいたらやらやっている。

- 1989- GRAPE (Gravity PipE):
重力多体問題専用計算機
- 2004- GRAPE-DR (Greatly Reduced Array of Processor Element with Data Reduction):
「汎用」アクセラレータ
- 2012- ポスト「京」プロジェクトに、、、どうなるか？

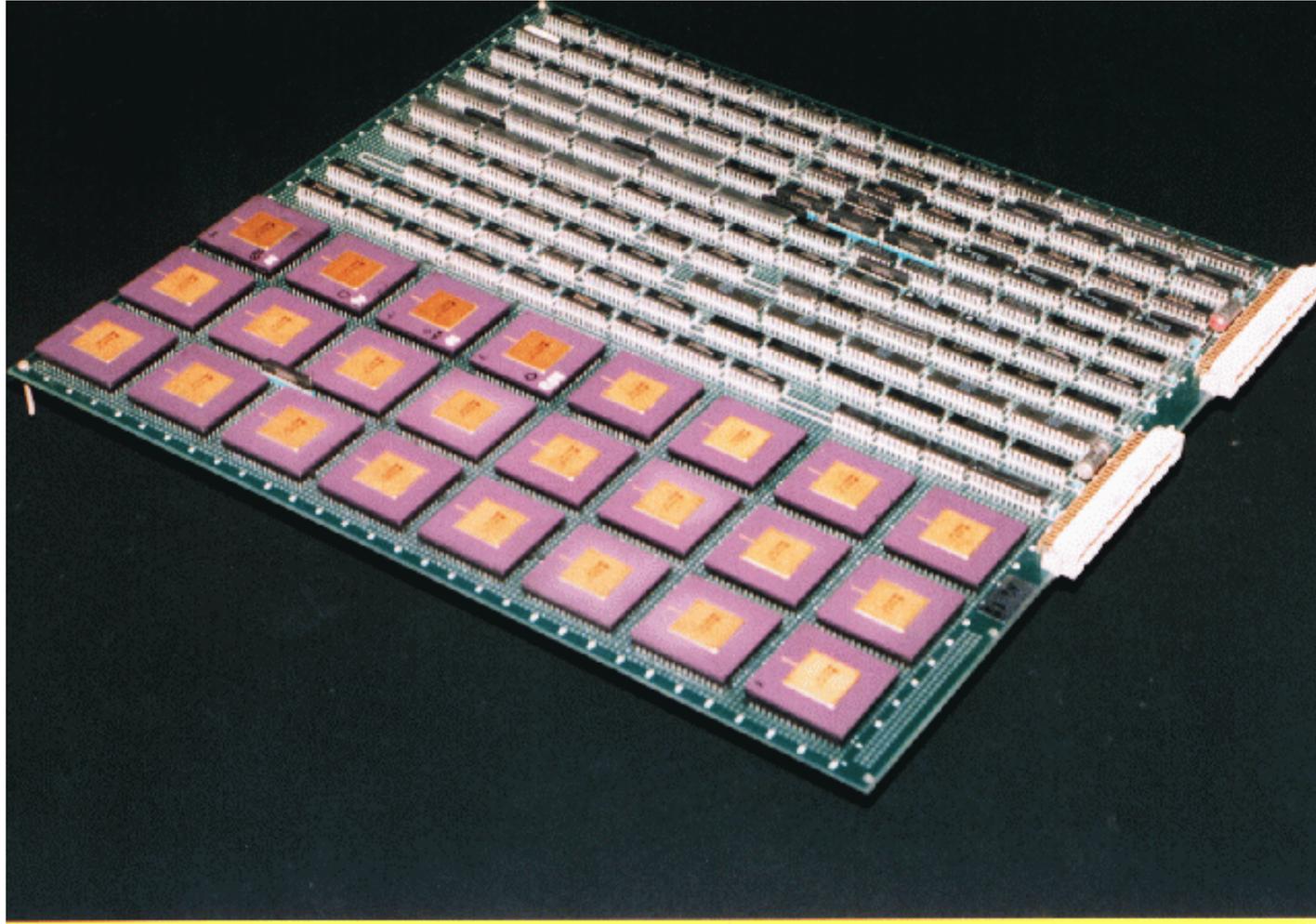
GRAPE-1(1989)



GRAPE-2(1990)



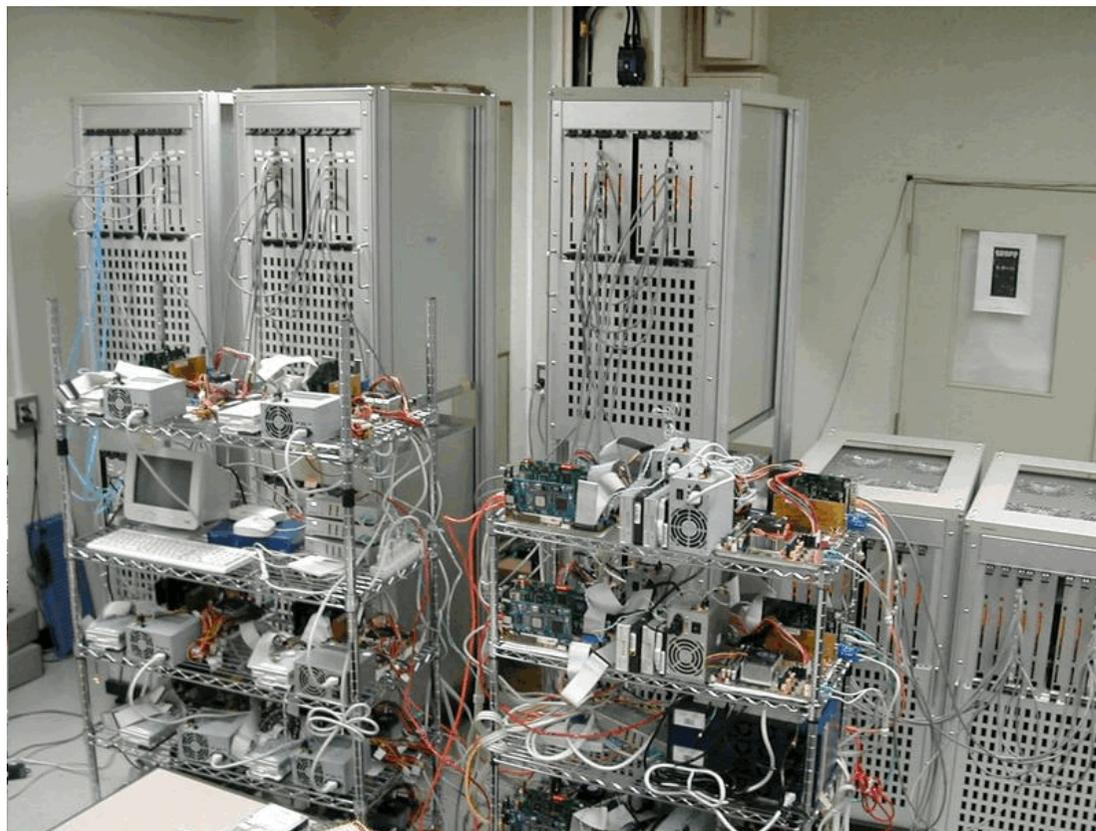
GRAPE-3(1991)



GRAPE-4(1995)



GRAPE-6 system



2002年の 64 Tflops システム

4 ブロック

16 ホスト

64 プロセッサボード

GRAPE-DR

- プログラム可能アーキテクチャ — GRAPE より広い応用範囲
- SIMD 並列計算機を1チップに。
- チップ性能: 単精度 512, 倍精度 256Gflops (500MHzで、、、)

できたもの — GRAPE-DR クラスタシステム



GRAPE-DR クラスタシステム

- 128-ノード, 128-カード システム (105TF 理論ピーク @ 400MHz)
- Linpack 実測性能 (2010/11): 35 Tflops@400MHz (81 ノードで測定)
- ホスト計算機: Intel Core i7+X58, 24GB メモリ

Green500

Listed below are the Little Green500's Top 10 most energy-efficient supercomputers in the world as of June 2010.

Green500 Rank	MFLOPS/W	Site*	Computer*	Total Power (kW)
1	815.43	National Astronomical Observatory of Japan	GRAPE-DR accelerator Cluster, Infiniband	28.67
2	773.38	Forschungszentrum Juelich (FZJ)	QPACE SFB TR Cluster, PowerXCell 8i, 3.2 GHz, 3D-Torus	57.54
2	773.38	Universitaet Regensburg	QPACE SFB TR Cluster, PowerXCell 8i, 3.2 GHz, 3D-Torus	57.54
2	773.38	Universitaet Wuppertal	QPACE SFB TR Cluster, PowerXCell 8i, 3.2 GHz, 3D-Torus	57.54
5	536.24	Interdisciplinary Centre for Mathematical and Computational Modelling, University of Warsaw	BladeCenter QS22 Cluster, PowerXCell 8i 4.0 Ghz, Infiniband	34.63
6	530.33	Repsol YPF	BladeCenter QS22 Cluster, PowerXCell 8i 3.2 Ghz, Infiniband	26.38

- ベンチマークは Top500 と同じ
- 消費電力当りの性能でランキング
- ちょっと小さいめのシステムまであり、のリストで1位
- 何故かNHK まで取材にきた。

ここから本題

- 簡単な自己紹介
- 原発事故の概要の復習
- 科学的な態度I
 - － 放出された放射性物質の量
 - － 身の回りの空間線量
 - － 食品
- 科学的な態度II
 - － もうちょっと色々なこと
- まとめ

事故の概要の復習

- 3/11-18 における (当時の報道・発表資料による) 事故の進展
- 「現時点」での「事実」

3/11-18 における(当時の報道・発表資料による)事故の進展(1) 3/11

3/11 18:28 時事通信

経済産業省原子力安全・保安院によると、11日午後の地震の影響で、福島第一原発の原子炉を冷却するための機能が作動していないという。

3/12 1:52 朝日

東日本大震災で、炉心を冷やす緊急炉心冷却システム(ECCS)が動かなくなった福島第一原子力発電所の1号機について、東京電力は12日未明、原子炉格納容器の圧力が高まっているため、容器内の放射能を含む蒸気を放出する作業を検討していることを明らかにした。

3/12 以降

3/12 セシウム 137 を建屋の外で検出、1号機爆発

15:30 1号機の爆発

朝日 3/12 19:11



一方、保安院によると、爆発音のあった後に、1号機の原子炉格納容器の圧力が急激に下がってきたという。格納容器の破損を防ぐため、弁を開けて内部の空気を抜く作業が効果を上げたのか、他の要因かは不明だ。

以下読売の見出しだけ

- 福島第一原発事故、深刻度「レベル4」以上か（3月13日 01:51）
- 福島第一3号機、冷却水位下がり燃料棒が露出（3月13日 12:57）
- 福島第二原発1・2号機、冷却システム回復（3月14日 10:36）
- 福島第一原発の半径20km住民に屋内退避指示（3月14日 11:45）

- 爆発の3号機、格納容器は健全...枝野官房長官 (3月14日 11:51)
- 爆発3号機、放射性物質拡散の恐れも (3月14日 11:55)
- 爆発した3号機、放射線量は小さな程度 (3月14日 12:24)
- 福島第一2号機も冷却機能が停止 (3月14日 15:24)
- 福島第一2号機、燃料棒すべて露出...冷却水消失 (3月15日 02:38)
- 福島第一原発2号機で水位回復、露出2・8m (3月15日 08:52)
- 爆発の2号機、燃料棒が2度にわたり完全露出 (3月15日 14:02)
- 福島第一1号機、核燃料の7割破損...東電試算 (3月16日 03:09)
- 第一原発事故はレベル6または7...米機関が見解 (3月16日 09:56)
- 福島第一原発の深刻度「レベル5」に引き上げ (3月18日 18:01)

最初の一週間のまとめ

端的に言えば: 混乱

- なにが起こってるのか発表・報道からは全然わからない
- そもそも重大な事態なのか、大したことないのか？
- なんかすごい爆発が起こったけど、テレビで「心配ない」っていつてる？
- なんかボロボロに壊れてるみたいに写真では見えるけど、「健全」？
- でた放射性物質は微量って？

最初の一週間の発表・報道と「事実」

発表・報道

INES レベル5

1000 テラベクレル程度

圧力容器・格納容器はどれも健全

放射性物質の深刻な放出はない

「事実」(現在の時点での)

INES レベル7

77万テラベクレル(3/18 までだと半分程度?)

1-3号機でメルトダウン、圧力容器・格納容器破損

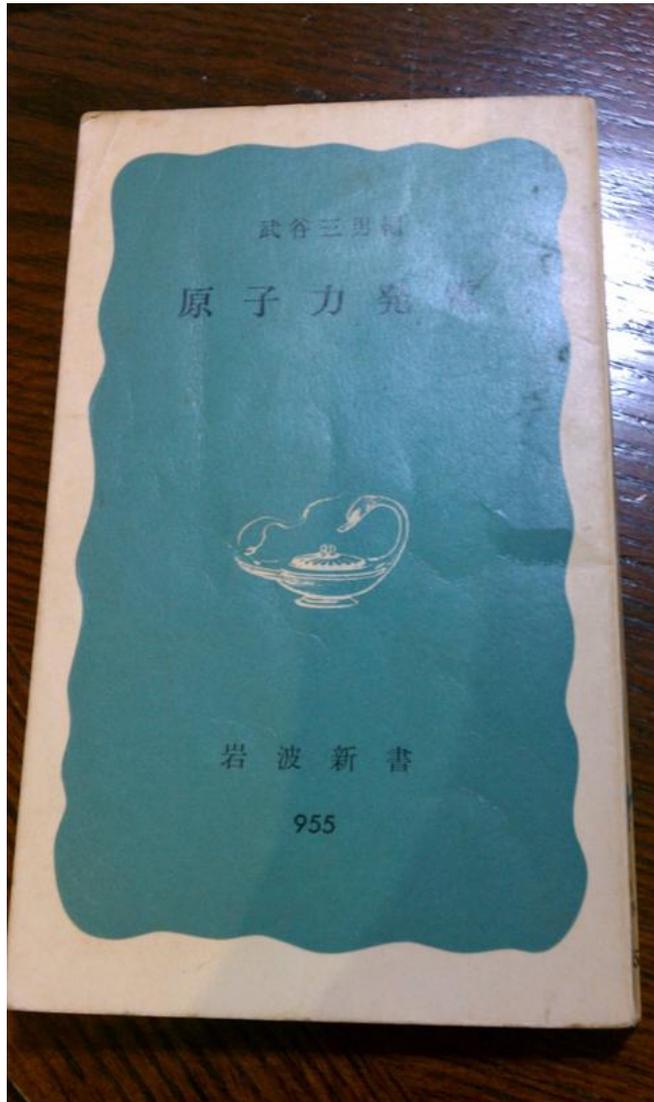
関東北部から岩手県にいたる広汎な汚染

- 放射性物質の放出量について 1000 倍程度嘘をいていた
- このため、なんらかの対策がとられるべきであった地域が放置された
- 放出量の見積もりができていなかったとは考えられない

「科学的」になにか見積もり、判断は？

- 原発の状態
- 放出された(される)放射性物質の量

私の(30年前の)知識



岩波新書 「原子力発電」
武谷三男編、1976

原理の記述等から、今読んでも
役に立つ良書

当時なされていた事故の予測に
ついて簡単に(予測自体は原子
力産業会議によるもの)

想定事故

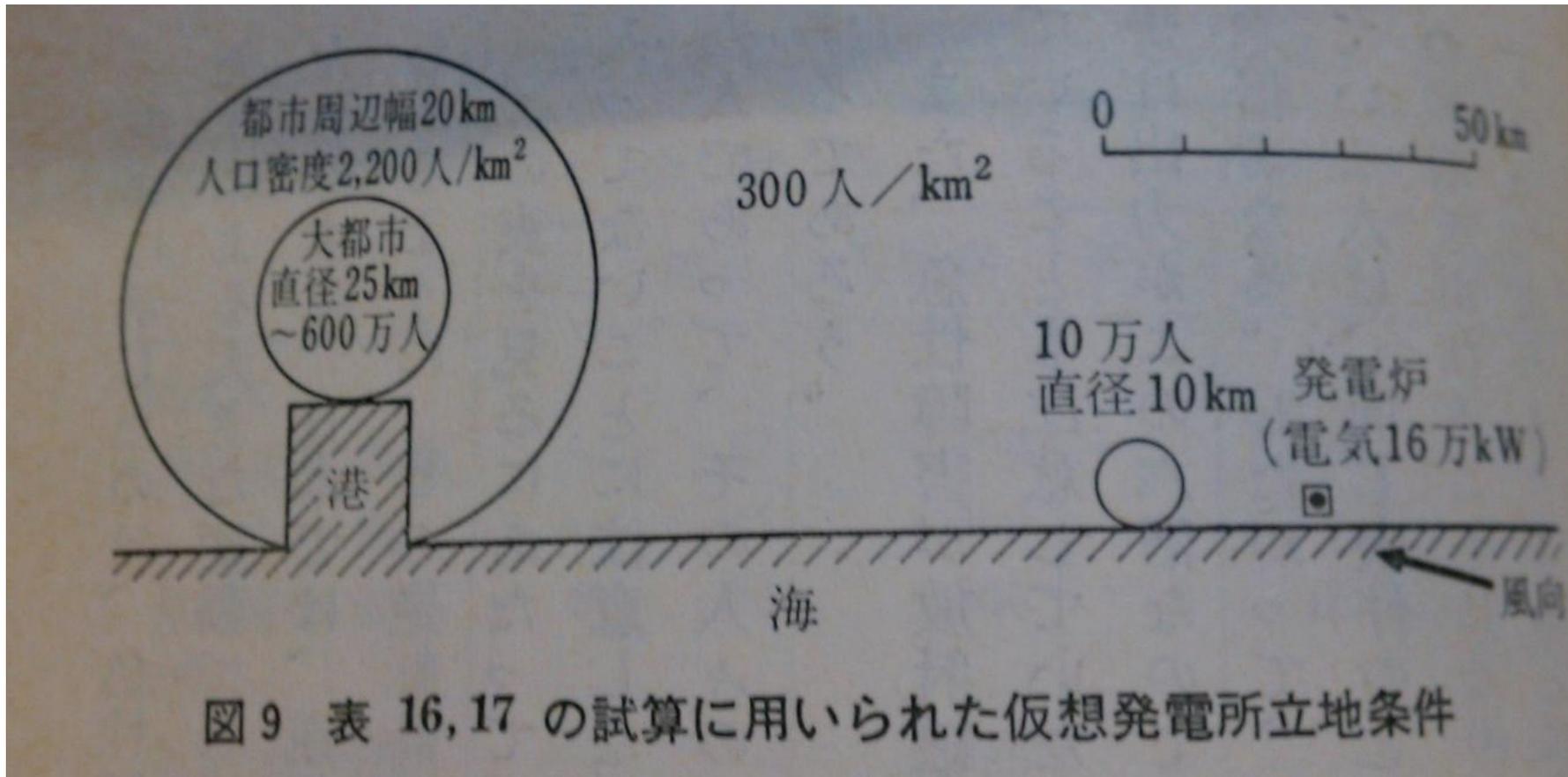


図9 表16,17の試算に用いられた仮想発電所立地条件

東海第一(福島第一1号機の1/3以下の規模)の事故
風は首都圏方向

被害予測

表 17 発電炉事故による災害評価

	全 放 出				立退き
	立退き	耕作禁止(農村) 半年退避(都市)	農業制限	全損害 金額	
粒度大	人	人	平方キロ	億円	人
気温遙減 乾燥	35,300	8,000,000	36,000	11,000	4,270
" 雨	8,700	120,000	170	420	3,800
気温逆転 乾燥	6,200	49,000	240	145	3,200
粒度小					
気温遙減 乾燥	96	13,500	350	53	—
" 雨	99,000	17,600,000	150,000	37,300	2,400
気温逆転 乾燥	30,000	3,700,000	36,000	9,630	4,800

日本原子力産業会議, 1960

条件は表 16 と同じ

首都圏全面避難もありえる

避難基準

表 18 立退きの基準 (単位はキュリー/m²)

	揮発性放出	全放出
A 12時間以内全員立退き (12時間で12レムに達する)	0.04	0.07
B 1カ月以内全員立退き (3カ月で25レムに達する)	0.01	0.02
C 都市では半年退避 農村は立退き (1年で5レムに達する)	0.0006	0.00004
D 1カ年農業制限 (汚染食品より骨に15レム他)	0.00006	0.000004

半年退避: 150万 Bq/m²

農業制限: 15万 Bq/m²

3/11-12 に私が考えたこと

- 大事故になる可能性が高い(冷却できなくなるというのは一番まずい)
- 福島第一だけで東海第一の30倍の規模。東京に放射能がくるならその前に逃げないといけない
- 逃げないといけない事態になっても国から指示はでないだろう(首都圏全面避難はそもそも不可能)
- 国の発表も報道も筋が通らなくなってる

3/11-12 に私が考えたこと

- 大事故になる可能性が高い(冷却できなくなるというのは一番まずい)
- 福島第一だけで東海第一の30倍の規模。東京に放射能がくるならその前に逃げないといけない
- 逃げないといけない事態になっても国から指示はでないだろう(首都圏全面避難はそもそも不可能)
- 国の発表も報道も筋が通らなくなってる

情報をつなぎ合わせて、なにが起きているか見極めないといけない

風向き等

- 天気予報では14日までは北風にならない(ほぼ西風)
- 15日は関東向きの風になることが14日の予報ではでていた
- 14日までには発電所周辺のモニタリングデータ、茨城県のリアルタイムデータ等があった

15日には風向きと茨城県データを見て判断しよう

15日朝に職員に送ったメール

皆様

報道ではあまりでていませんが、現在茨城県の放射線モニタの数字が通常の100倍まで上がっています。現在の風向・風速では11時頃には東京まで放射性物質を含む風がきます。今日は少なくとも屋外にでないか、または箱根の西くらいまで移動を視野に入れて下さい。

牧野

自分はどうしたか？

- 先ほどのメールを送ったあと西へ移動
- 1週間ばかり岐阜の実家へ家族(といってもパートナー氏一人)と

放出された放射性物質の量は？

- 3/13 INES レベル4(数百テラベクレル以下)
- 3/18 INES レベル5(数百—数千テラベクレル)
- 4/12 INES レベル7(数万テラベクレル以上)
- 6月から現在まで: 「(ヨウ素換算)77万テラベクレル」(主にセシウムで2万テラベクレル)、チェルノブイリの約1/7

保安院の計算にはいっている放出のほとんどは 3/15-16 と 3/20-21 に起きているので、実際には 3/15-16 の時点でレベル7だったということ。

これは実は簡単な計算で当時容易に見積もることができた。

牧野の 3/14 の見積り

双葉町役場で $500\mu\text{Sv/h}$ ということから概算

- 地面に横になっている人が下にある I-131 からの放射線の半分を吸収するとして、シーベルトとベクレル(この日にやったのはキュリー)の換算係数を求める
- 求めた結果は $1\text{Sv/h} = 12\text{Ci/m}^2$
- 1平方キロにわたって 1mSv/h なら総量 6000Ci、多分もう数倍とすると数万キュリー、1000 テラベクレルくらい

この計算は色々適当だがオーダーは間違っていない。
同様な計算を 3/15 の関東についてやるとさらに 10 倍、1 万
テラベクレルになった。(放出量ではレベル7)

牧野の 3/18 の見積り

放出量と汚染度分布がわかっているウィンズケール事故と比較した。

- ウィンズケール事故では、原子炉から 50km のところの汚染は典型的には 10^4Bq/m^2 、総放出量は 1000 テラベクレル。
- 3/19 における福島県での原発から 50km のところでの典型的な測定値は $2\text{-}3 \mu\text{Sv/h}$
- ヨウ素に対する換算係数を使うと $1 \mu\text{Sv/h} = 4 \times 10^5 \text{Bq/m}^2$ (正しい数字は 7。4 は牧野の概算)
- なので、福島汚染は 10^6Bq/m^2 となり、ウィンズケールの 100 倍
- 従って大体 1000 テラベクレルのウィンズケール事故の 100 倍、10 万テラベクレル

ウィンズケール事故とは？

- 1957年10月にイギリス、ウィンズケールのプルトニウム生産専用原子炉で起こった。
- 原子炉は黒鉛減速炭酸ガス冷却炉。日本だと東海1号炉(既に停止・廃炉)
- 停止・点検中に黒鉛から発熱、火災に。消火まで16時間
- 約 1,000 テラベクレルのヨウ素が放出された

日本への輸出が決まった直後。イギリスが「事故の時の補償はしない」と通告してきたきっかけになった？ → 原子力損害賠償法

安全委員会の 4/12 日発表

- 3/16 までの放出はヨウ素で大体 8 万テラベクレル
- セシウムはその 1/10

ということで、牧野の概算は 2 倍は違ってはいない。

但し、これは総放出量とは全く違う、ということに注意。爆発のあった 3/12-14 にも大量の放出があったはずだが、これはその 3 日間の強い西風のため全て太平洋にいったと思われる。3/15 は事故後初めて北東からの風になった。

というわけで、見積もりは 正しかったんだけど

- 何故か？(物理学者も含めて)あまり信用されなかった？
- (信用した(あるいは自分で計算して正しいと確認した)人結構いたんだけど、情報発信していた人の中にはあまり、、、)

ということでなにか役に立ったかどうかは疑問。

とはいえ

- 原発事故では風向きに注意というのは本来「だれでも知っているべきこと」
- 3/11 からの最初の1週間に、放出された放射性物質の量をその日のうちに見積もることはそれほど難しくなかった。
- 特別な知識は必要ない。I-131 の γ 線のエネルギーと、あとはシーベルト、ベクレル等の単位の定義。
- 計算自体は高校生でもできる。

科学的方法＝ 計算手順、オーダー推定の方法自体を考えだすこと

(ちょっと我田引水ですが)

もうちょっと身の回りの話

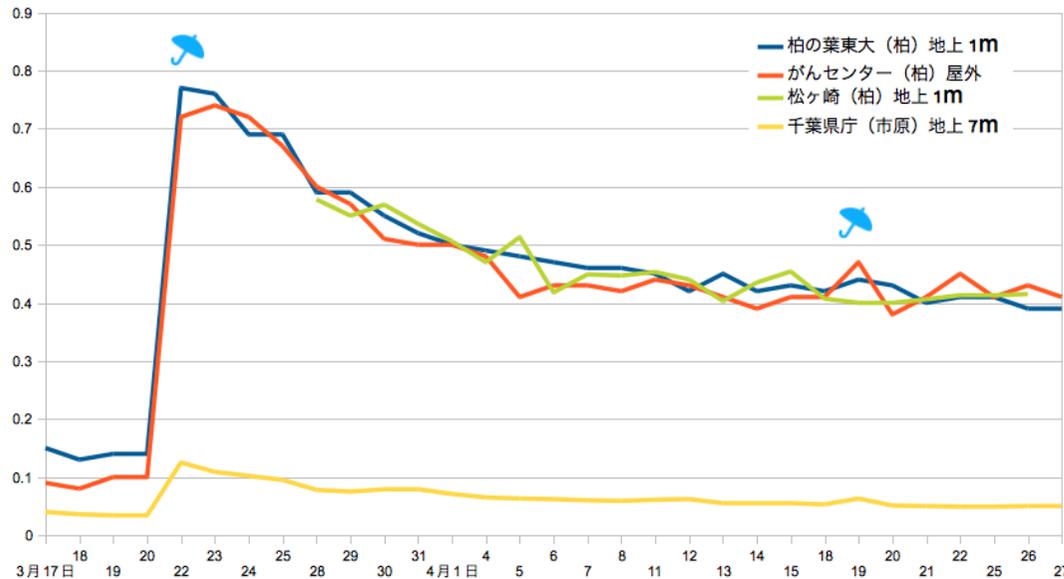
放射性物質はまだ身の回りにあり、その影響はまだ良くわからない

- 空間線量
- 食品

空間線量

- 起源はその辺の土壌、道のアスファルト、家の屋根とかにたまった放射性物質
- 主な影響は外部被曝(？)
- シンチレーションカウンタ等で測定すればわかる
- 同じ県内、市内でも1桁以上違うことは普通

東大柏キャンパス

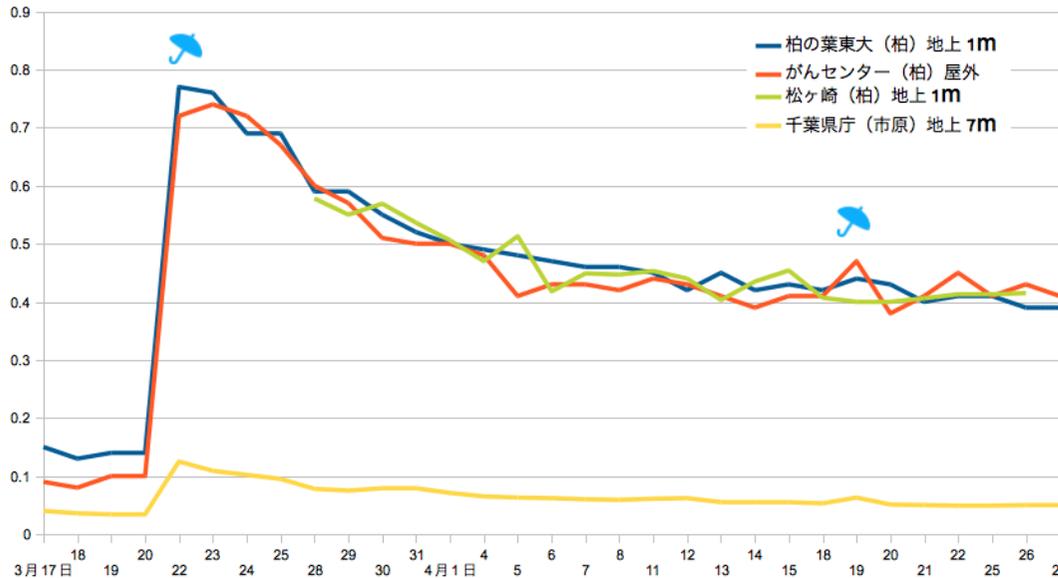


東大、がんセンターの測定データで 3/20 に急上昇

東大のウェブページ:「これは平時の線量が若干高めであることと、加えて、

福島原子力発電所に関連した放射性物質が気流に乗って運ばれ、雨などで地面に沈着したこと、のふたつが主たる原因であると考えています。気流等で運ばれてきた物質がどの場所に多く存在するか、沈着したかは、気流や雨の状況、周辺の建物の状況や地形などで決まります。結論としては、少々高めの線量率であることは事実ですが、人体に影響を与えるレベルではなく、健康にはなんら問題はないと考えています。」

東大柏キャンパス



東大、がんセンターの測定データで 3/20 に急上昇

東大のウェブページ: 「これは平時の線量が若干高めであることと、加えて、

福島原子力発電所に関連した放射性物質が気流に乗って運ばれ、雨などで地面に沈着したこと、のふたつが主たる原因であると考えています。気流等で運ばれてきた物質がどの場所に多く存在するか、沈着したかは、気流や雨の状況、周辺の建物の状況や地形などで決まります。結論としては、少々高めの線量率であることは事実ですが、人体に影響を与えるレベルではなく、健康にはなんら問題はないと考えています。」

実は柏市全体、もうちょっと広い範囲が「ホットスポット」だった

海外の例

B. Wynne, *Misunderstood misunderstanding: social identities and public uptake of science*

In May 1986, following the Chernobyl accident, upland areas of Britain suffered **heavy but highly variable deposits** of radioactive caesium isotopes, which were rained out by localised thunderstorms. The effects of this radioactive fall-out were immediately dismissed by scientists and political leaders as negligible, but after six weeks, on 20th June 1986, a ban was suddenly placed on the movement and slaughter of sheep from some of these areas, including Cumbria.

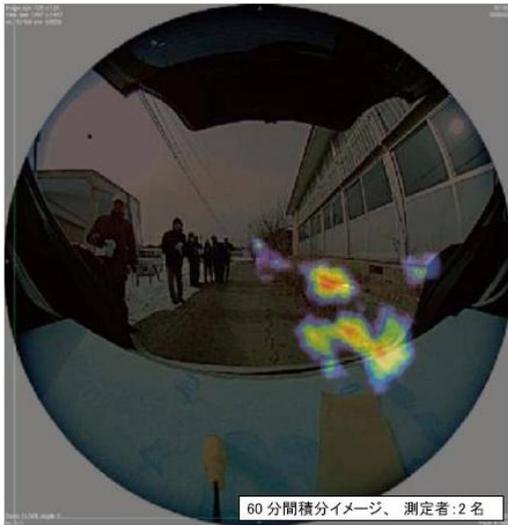
(チェルノブイリの時。専門家は「大したことはない」と、、、)

ちなみに：高エネルギー天文学も貢献

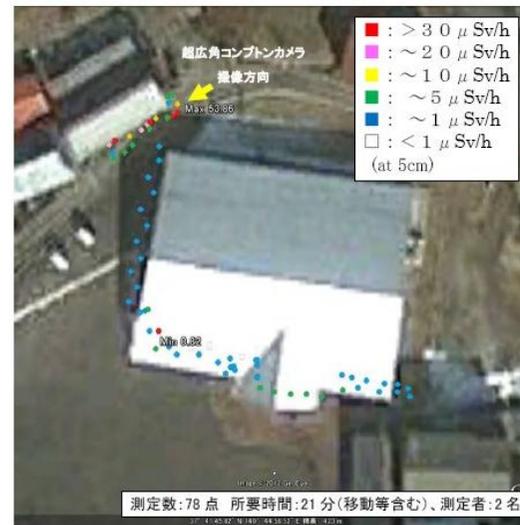
- 宇宙研、高橋さんのグループが開発

(ASTRO-H 搭載用ガンマ線カメラの技術を応用)

- シリコンと CdTe 半導体検出器の組み合わせ。

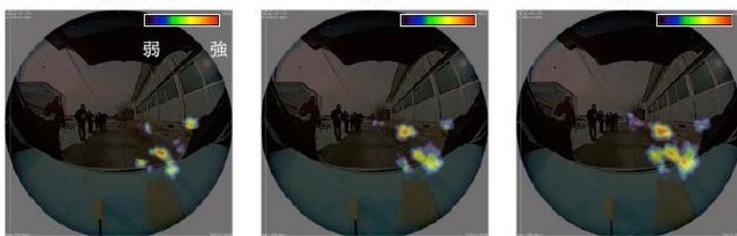


超広角コンプトンカメラでの撮像結果



ガンマプロッターHでの測定結果

参考) 撮像時間変化



- 線で「撮像」

教訓

- 空間線量はちょっといい機械使えば誰でも測定できる
- それにもかかわらず、東大とかでも明らかに理屈にもデータにもあわないことをいうことがある。
- 柏では福島からの放射性物質で 10 倍にはねあがったのに、「平均の線量が若干高め」
- 実は柏は 3/11 以前は比較的低い目のエリアだった
- 「権威」が信用できるわけではない
- 歴史を知らないと同じ間違いを繰り返す
- (天文学も役に立つ ???)

食品

以下のようなことをいう専門家や物理学者が沢山いる

- 「精度が高い測定には高価なゲルマニウム測定器が必要」
- 「精度低い測定でも高価な装置必要」

本当にそうか？

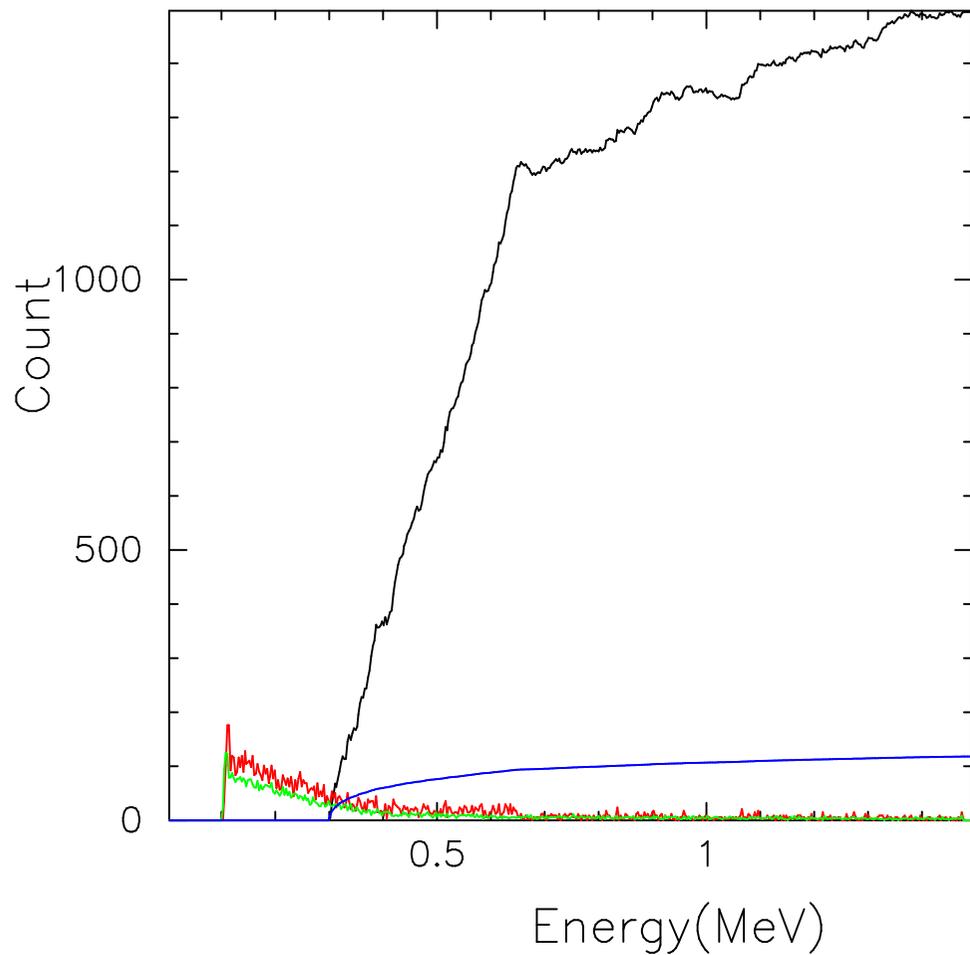
牧野の自宅の測定環境

- DIY 放射能測定
- 測定器:テクノエーピー社
TC100S(スペクトルをUSB出力できる) (2012/12 にTC300S に更新)
- 遮蔽用鉛 100kg くらい (6万円くらい)

現状の測定限界: 22時間測定で 1Bq
(100g サンプルで 10Bq/kg、300g
なら 3Bq/kg)



測定結果の例



2011年、静岡県産お茶

黒線は積分したエネルギー
スペクトル(バックグラウンドを
引いたもの)

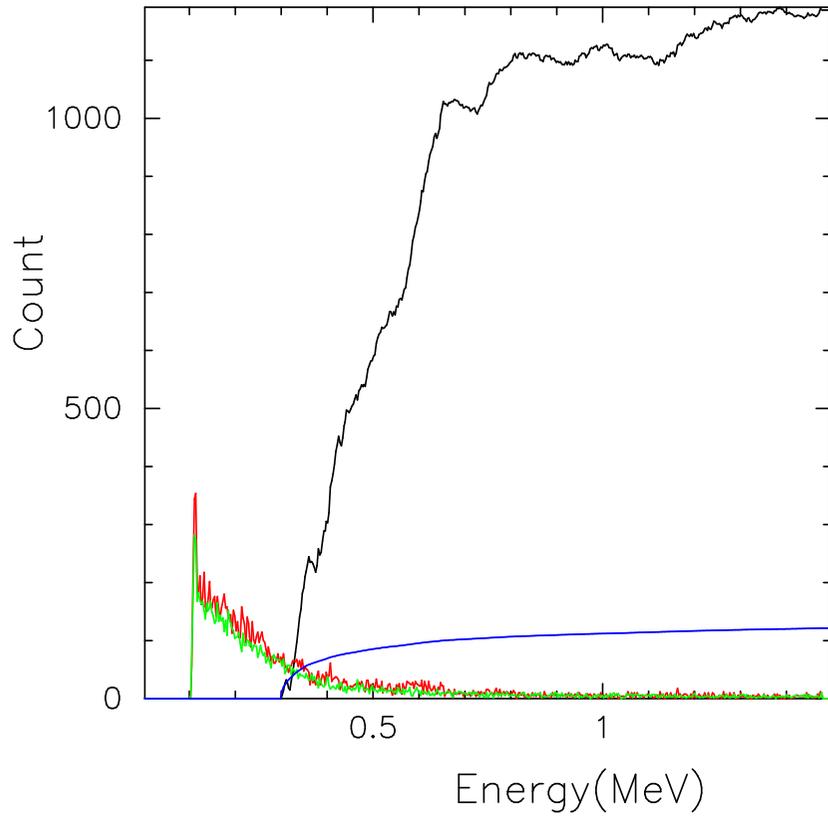
赤は測定データ、緑はバックグ
ラウンド、青は測定結果の標準
偏差

これは $100 \pm 30\text{Bq/kg}$

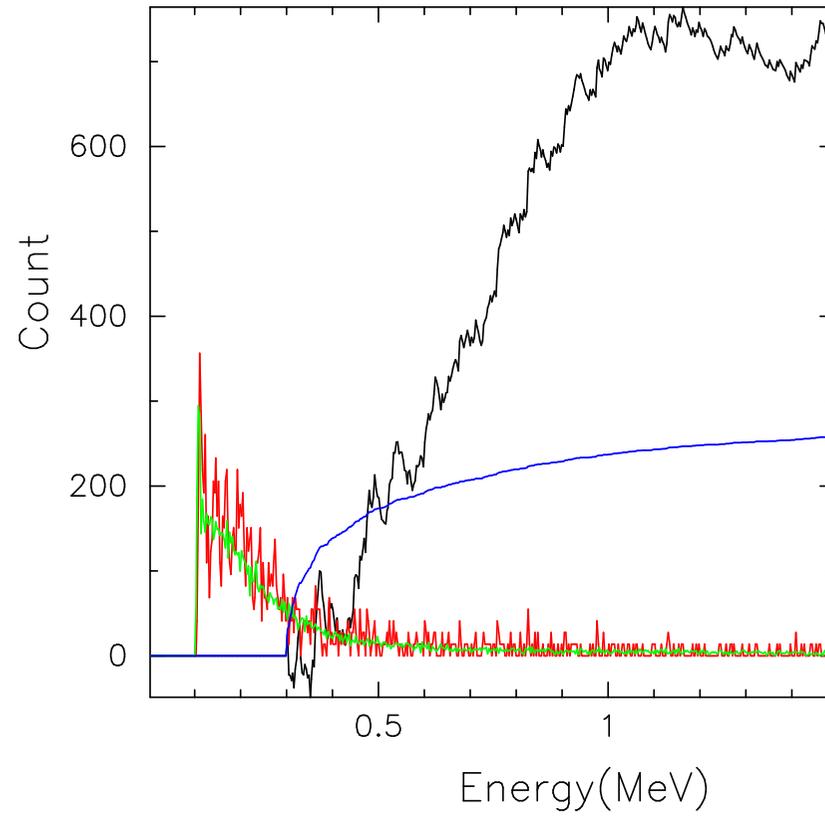
定量の原理

- セシウムとカリウムだけ考慮 (他があったら大変だがなそう)
- 0.3MeV から 0.8MeV くらいの積算カウントを、バックグラウンドと比較。統計的に有意かどうか正規分布として判定 (コンプトン散乱の分も使ってカウント増やし、統計を上げる)
- カリウムは 1.4MeV のピークで定量して、0.3MeV から 0.8MeV までへの寄与を引き算する。

群馬県産しいたけと福島県産リンゴ

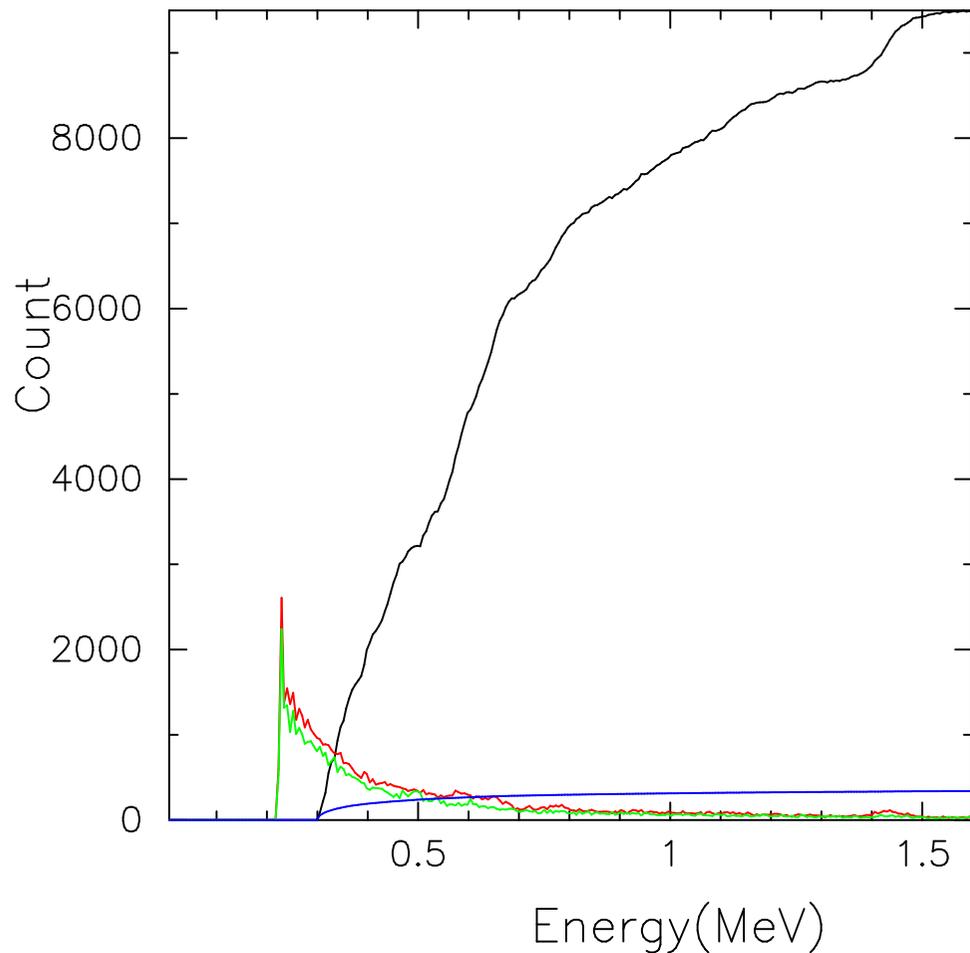


100 Bq/kg



20Bq/kg

常磐道SAで買った干し納豆(2012年年末)



2012年、多分茨城産?の干し納豆

1.4MeV にカリウムのピークあり。セシウムのピーク(0.6-0.8に3個)も見える

赤は測定データ、緑はバックグラウンド、青は測定結果の標準偏差

これは $13 \pm 3\text{Bq/kg}$

最近はこんなにできるものはあまりない(買ってないせいかも、、、)

食品測定について

- 高価な専用装置を使わなくても、スペクトルがでる線量計と鉛遮蔽で食品測定だってできる (20万円は安くないが、、、)
- 測定の数学は簡単な確率分布の応用問題
- 「専門家」「学者」はそんなの無理という人が多いけど、、、
- 「専門家」のなかにはとりあえずなんでも「素人には無理」という人達もいる
- それを信用するのが科学的な考え方とも限らない

まとめ

- 原発事故の後、国、東京電力、専門家、科学者のいったことは結構間違いがおおかった
- ちゃんと科学的に調べ、考えれば正しいことがなにかはわかることも多い
- 身の回りの放射性物質の量、食品汚染についても、権威、専門家に頼るだけでなく自分で科学的に考え、行動することでわかることがある

他の物理学者からの情報発信は どういった感じだったか？

- 特に事故直後の1週間程度、原発事故の影響がどれほどのものか、は国・東京電力の公式発表やメディア報道からはよくわからなかった(例の「ただちに健康に影響はない」しか情報がなかった)
- ここまででみたように、国・東京電力の3月頃の発表と、現在わかっている当時の原子炉の実際の状況、放射性物質の放出状況には大きなずれがあった。

このギャップを埋めるのは「客観的で中立」な情報を提供する科学者の役割、とかいう議論もできないわけではない。実際はどうだったか？

天文学会 ML に 3/19 に流れたメールから

「福島原発の放射能を理解する」スライド公開

<http://ribf.riken.jp/~koji/jishin/>

素粒子実験分野の研究者 / 院生の皆さん

今回の震災に起因した福島原発の事故について国民の不安が高まっています。チェルノブイリのようになってしまうと思っている人も多いです。放射線を学び、利用し、国のお金で物理を研究させてもらっている我々が、持っている知識を周りの人々に伝えるべき時です。

アメリカの Ben Monreal 教授が非常に良い解説を作ってくれました。もちろん個人的な見解ですが、我々ツイッター物理クラスタの有志はこれに賛同し、このスライドの日本語訳を作りました。能力不足から至らない点もあると思いますが、皆さん、これを利用して自分の周り（家族、近所、学校など）で国民の不安を少しでも取り除くための「街角紙芝居」に出て頂けませんでしょうか。

(以下略)

物理学者の活動の方向

先に紹介したメッセージは典型的

- 「チェルノブイリのようになってしまうと思っている人も多いです」
(放射性物質放出量は実際になっていた)
- 「国民の不安を少しでも取り除く」(取り除くのは自明に正しいのか?)

つまり:ネット上でみられた科学者の活動の多くは、事故の規模を過小評価した上で「安全」を強調するものになってしまっていた。

何故か?はともかく前例はチェルノブイリでもあった
(ソ連だけでなくイギリス・フランスでも)。

科学者・国民の結構な部分は国の嘘に騙された

以下、あんまり天文学と関係ないが、シミュレーションはではどれくらい役に立ちえたか、という話を少し。

原子力安全基盤機構の シミュレーション結果

10 原シ報 - 0003
JNES/NSAG10 - 0003

平成21年度
地震時レベル2 P S Aの解析 (BWR)

平成22年10月

独立行政法人 原子力安全基盤機構

3/13 に BWR の構造、事故のモデルとかの資料がないかと調べていたら、原子力安全基盤機構の報告書というのを見つけた。

シミュレーション可視化の例

動画で見る炉心溶融

独立行政法人・原子力安全基盤機構が事故前に、原子力防災専門官向け資料として作成していた、炉心溶融のシミュレーション画像。

解析対象になっていた原子炉

- BWR-3
- BWR-4 (50万kW電気出力) (1号機?)
- BWR-4 Mark-I (福島第一 2-4号機)
- BWR-5 Mark-II (福島第一 5,6号機?)
- ABWR RCCV(浜岡5号機)

BWR-4 (50万kW電気出力) の代表的事故シーケンス

- 電源喪失 (TBU)
- インターフェースLOCA(V)
- 大LOCA時未臨界確保失敗 (AC)
- 小LOCA時未臨界確保失敗 (S2C)

LOCA: Loss of Coolant Accident, 原子炉冷却材喪失事故

原子炉の構造

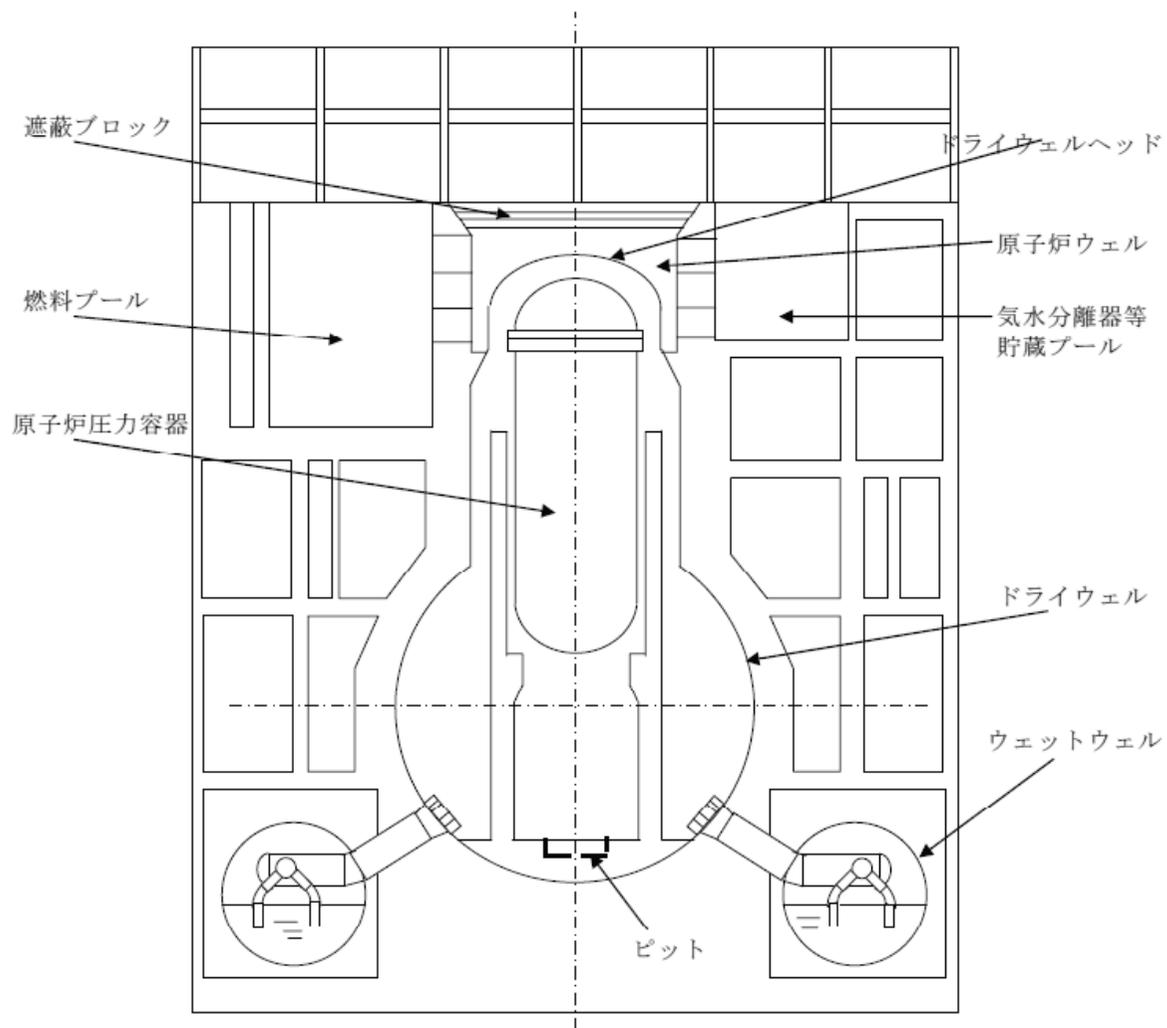
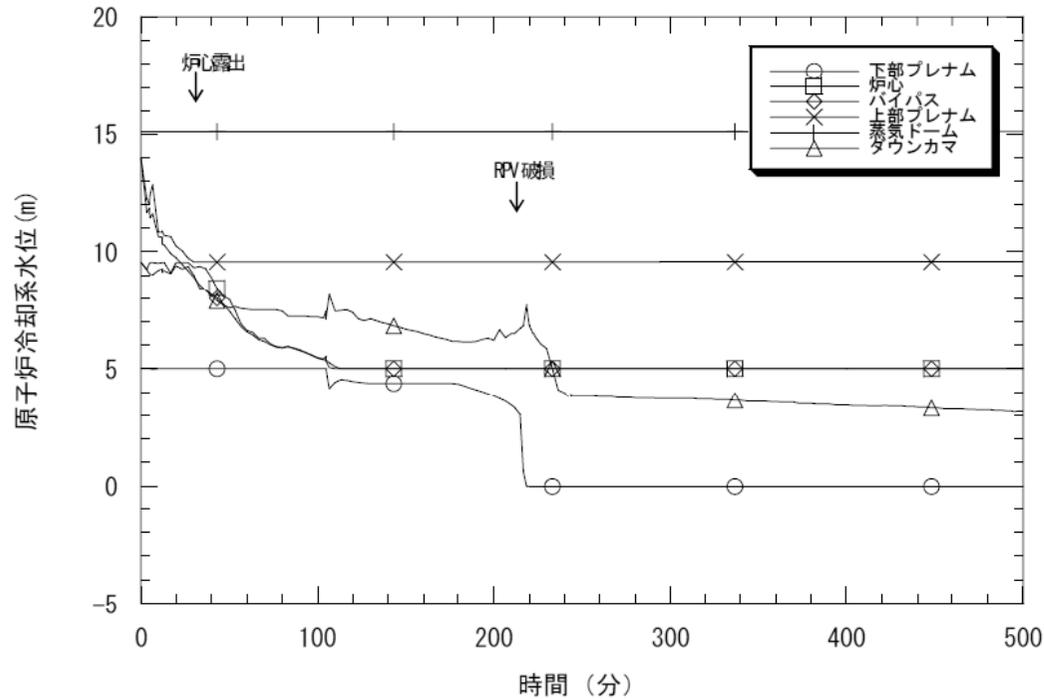


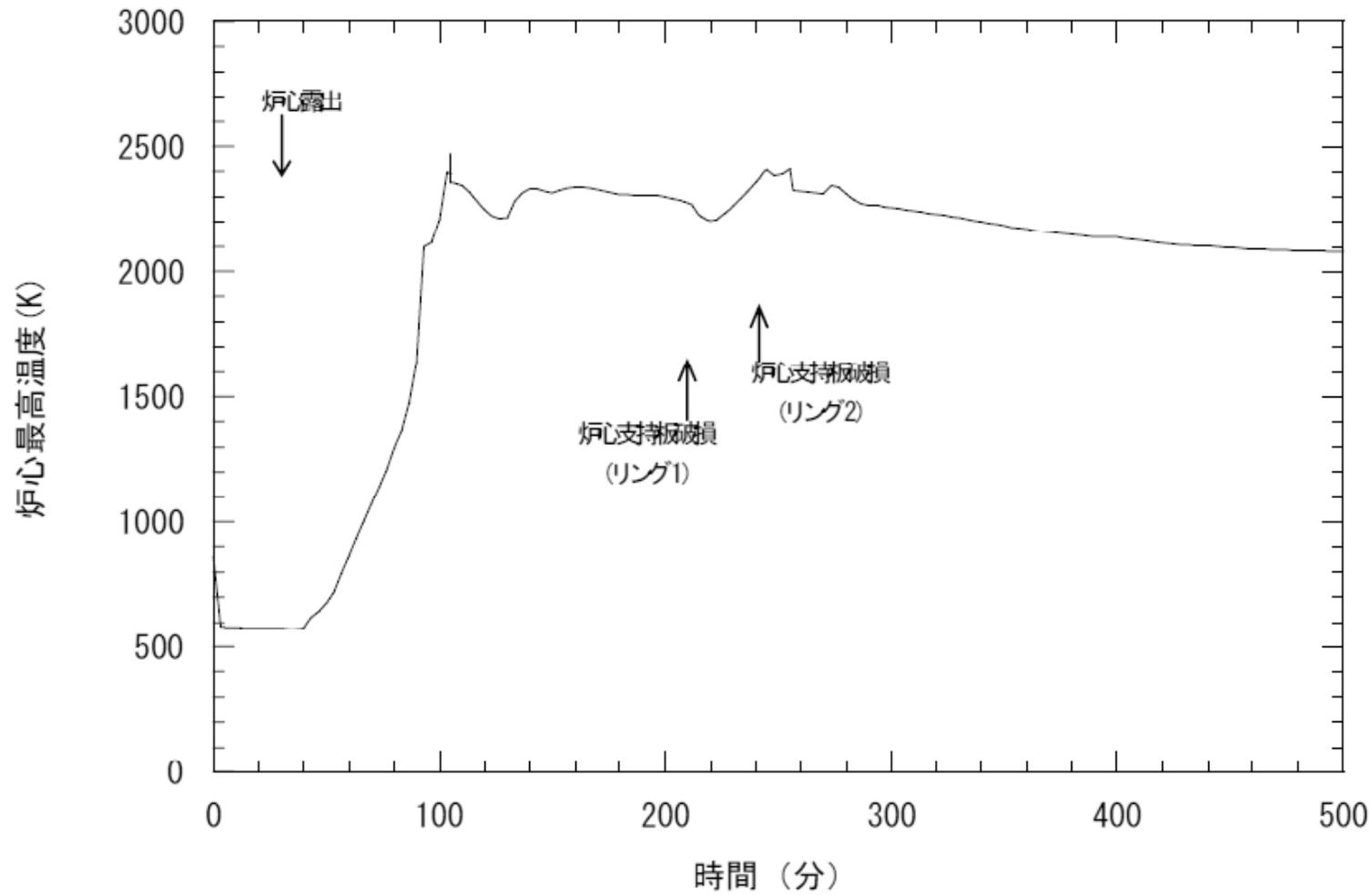
図 2.6 BWR-4 Mark I 型の原子炉建屋概要図

電源喪失のシミュレーション結果詳細 (BWR-4の場合)

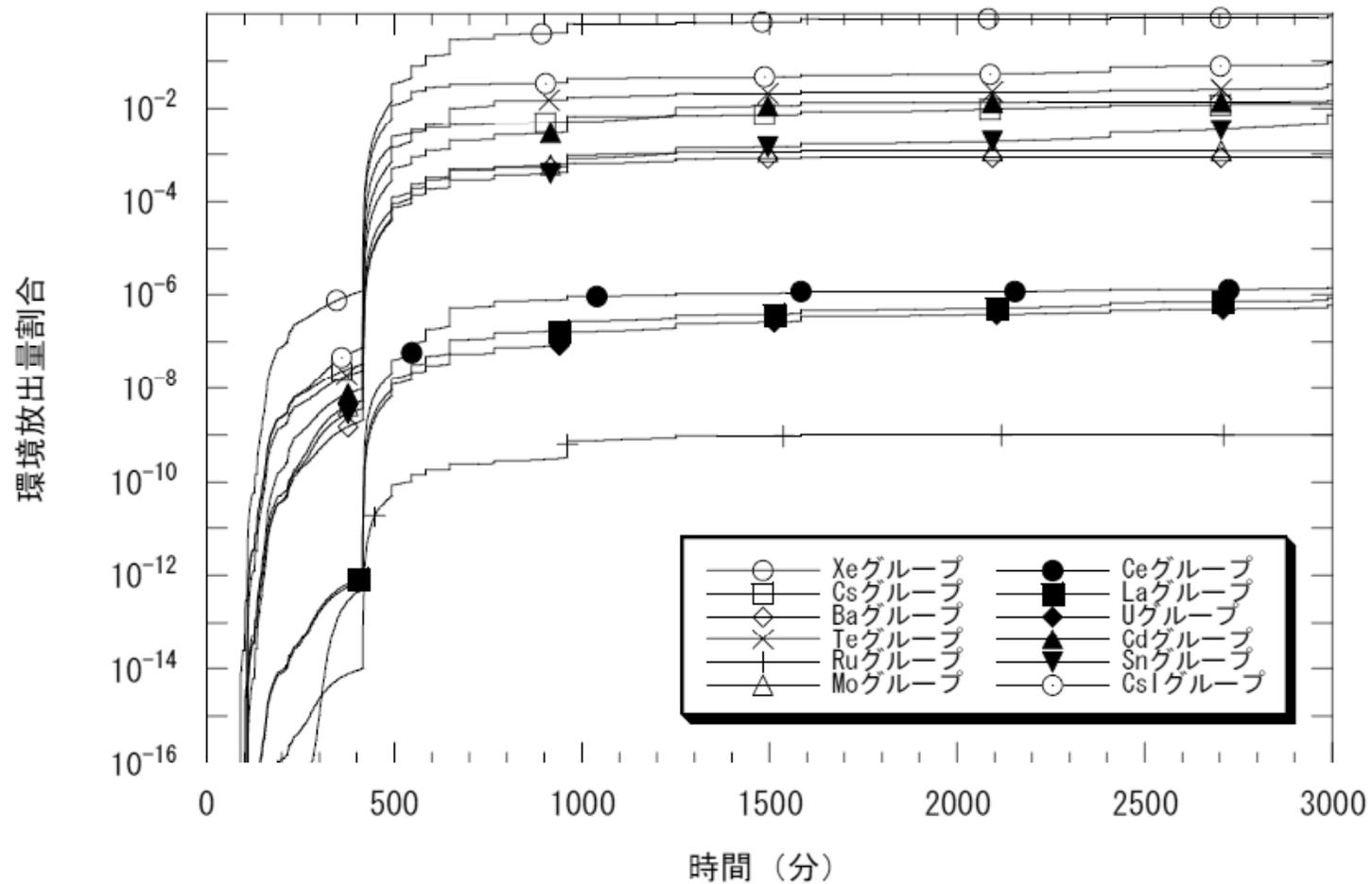


1 時間で炉心露出
3 時間で圧力容器破
壊

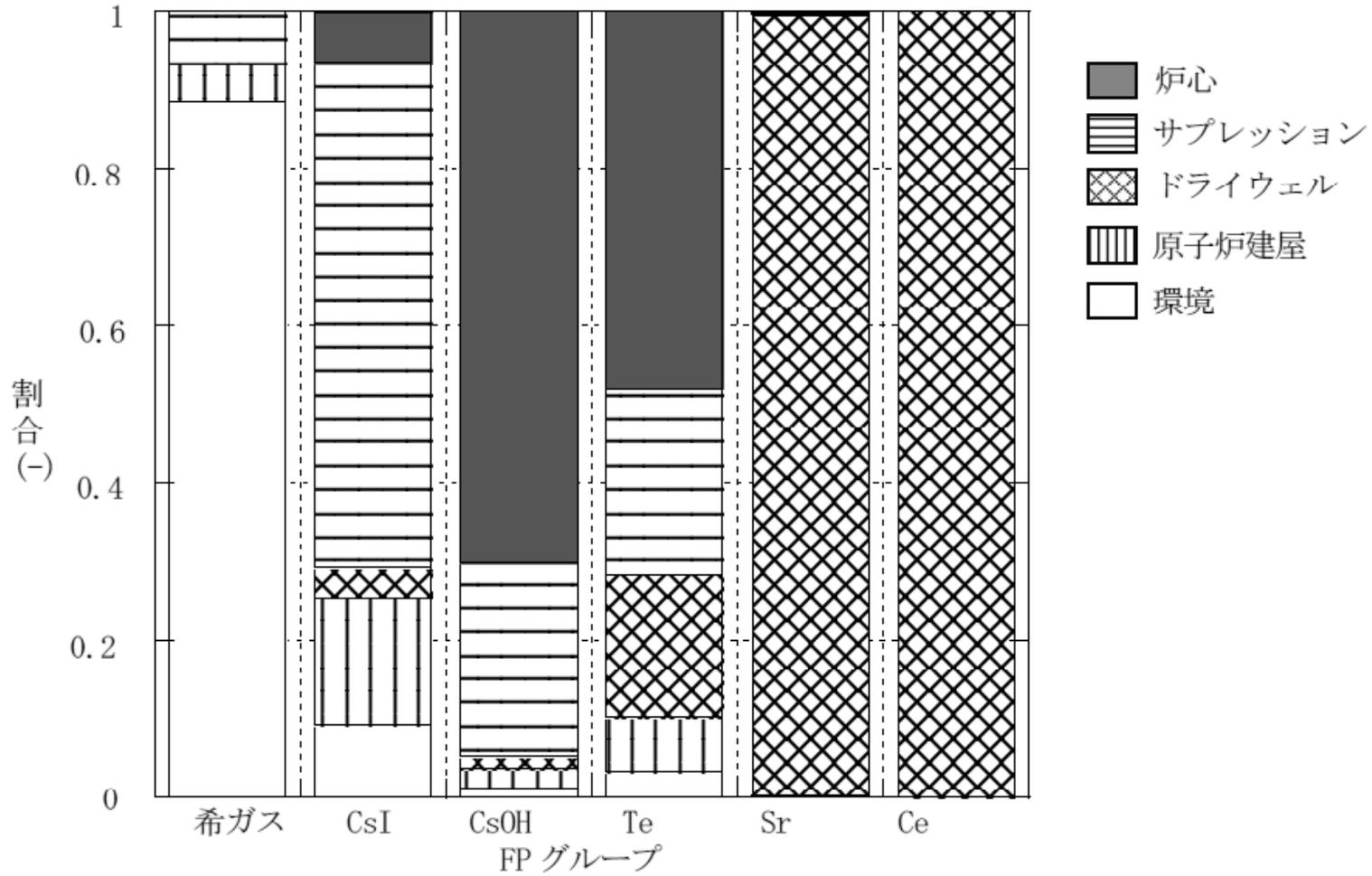
炉心温度



環境放出量割合



放射性物質分布



シミュレーションでわかっていたこと

- 電源喪失事故の進展は速い。
1 時間後炉心露出、3 時間後圧力容器破壊、7 時間後格納容器破壊、20 時間後建屋基礎貫通
- 格納容器破壊後環境への放出始まる。放出はシミュレーション時間範囲 (50 時間) でたらだら続く。
- 環境にでるのは主に稀ガス、ヨウ素、セシウム、テルル。
ヨウ素で 10% 程度、セシウムはその数分の一。

「現時点」での「事実」と思われるもの

- 1号機についてはほぼシミュレーション通りで手も足も出ないままに格納容器破壊にいたった。(東電 5/15 発表資料)
- 2、3号機は1-2日遅れだけど基本的には同じ。

東電が発表したのは5月だけど、シミュレーション結果、事故に関する報道、発表資料、環境放射線レベルから推定した放出量からは 3/15 くらいにはほぼシミュレーション通りにもものが動いていたことはわかっていた

原発事故シミュレーションについてのまとめ

- 福島原発で起きたタイプの事故(電源喪失)については詳細なシミュレーションが昔から行われていた
- 結果は、基本的に数時間後(非常用電源が何かあればそれがなくなって数時間後)にメルトダウン、稀ガス、ヨウ素、セシウムが大量放出される、というもの
- 5月以降の東京電力発表では、ほぼシミュレーション通りになっていたとしている
- 但し、地震で壊れてたのではないかとか色々意見はある

シミュレーションがこんなに上手くいくのは何故？

例えば地震予知とか天気予報は難しいのに、原発事故ってそんなに簡単に計算できるのか？

これは実はできる。電源喪失から炉心溶融までは、圧力容器の圧力は(弁の作用で)一定に保たれる。また、放射性物質の崩壊熱の大きさは正確にわかっている。このため、どれだけの率で水が蒸発していき、何時間後に炉心損傷するかはかなり正確にわかる。(でも、プログラムによって時間3倍違うとかいう話も、、、)

圧力容器は燃料棒落下後そんなにもたない。格納容器は破壊にいたる圧力は正確にはわからないが、時間はそんなにずれない。

津波については？

これもシミュレーションあり。「地震に係る確率論的安全評価手法の改良 = BWRの事故シーケンスの試解析」
仮定:

- 海水ポンプは波高7m以上、復水貯蔵タンク/起動変圧器等の屋外設置機器は15mで機能喪失
- 建屋への海水侵入は13m、15mで機能喪失

結論:

- 7m以上で炉心損傷確率が「1」。つまり、他が無傷でも海水ポンプ機能喪失だけで自動的に炉心損傷となる。

要するに

7mの津波でメルトダウンすると以前からわかっていた

但し、これは仮定＝結論みたいな話でシミュレーションしたからどうというものではない

「想定外」の14mの津波が事故の原因、というのは嘘、とはいわないが、予測の範囲の津波でもどうせ事故になっていたはず

国会での議論

2006/12/13 巨大地震の発生に伴う安全機能の喪失など原発の危険から国民の安全を守ることにに関する質問主意書
この要点は地震、津波の時に

- ディーゼルは動かないのではないか？
- 燃料棒バーンアウトは起きないのか？

というもの。

答弁

- 我が国において、非常用ディーゼル発電機のトラブルにより原子炉が停止した事例はなく、また、必要な電源が確保できずに冷却機能が失われた事例はない。
- 経済産業省としては、お尋ねの評価は行っておらず、原子炉の冷却ができない事態が生じないように安全の確保に万全を期しているところである。

国の答弁の意味

この答弁を素直に読むと

起こったことがない事故のことなんか知らん
今まで事故起きてないんだから大丈夫だ

と書いてある。予想されていてもまだ起こってない事故には対策しない、といってる

つまり：「想定外」＝まだ起こってなかったので対策しませんでした

どうしてそんな馬鹿なことになったか？

人間の特性 7 箇条（高橋秀俊）

- 人間は気まぐれである
- 人間は怠け者である
- 人間は不注意である
- 人間は根気が無い
- 人間は単調を嫌う
- 人間は理論的思考力に弱い
- 人間は何をするかわからない

事故が起きてないと段々さぼる。

というだけかも。

考えないといけないこと：何故我々は 原子力発電所を容認してきたのか？

個人的印象と体験：

- 高校生から大学教養課程くらいまで：多少勉強したこともあり、原子力発電というのは理屈にあわない危険なものと考えていた（この考え自体はずっと変わってない）
- 進学したあと、工学部系の先生方の中には「エネルギー問題の解決のためには原子力発電、核燃料サイクル、ひいては核融合の実現は必須」という信念をもってるらしい人が結局いるのを認識
- 学生運動の崩壊のあとの世代の一員としては、とりあえず先生には逆らわない方向で
- 理学部系の人には「原子力なんて頭おかしい」と思ってても公にはいわない人が一杯いることも段々わかってきた
- (京大、天体核研究室：「地上の核融合研究には将来がないからやめる」：1960年くらい。私の指導教官はこの研究室出身)

そういう雰囲気の原因の起源は？

- 「原子力工学科」は既に学生の人気は非常に低かった。スリーマイルの後でもあるけど、それ以前から下がっていた？
- 一方「エネルギー問題上必要」「国民の意識改革が必要」という議論は当時からあった。
- この議論に合理的な根拠があるように見えない。もちろん、放射性廃棄物の問題とか核融合の割合原理的な困難が解決すればエネルギー問題の解決に貢献しうるが、あんまり解決しそうにも見えないので。
- この、根拠がなさそうに見えるのになぜ「原子力発電は必要」(しかも、現在運転しているものが必要)という理屈を頑張っているのかがよく理解できない。
- 「国民の理解」を得るためにに頑張った結果、その説明を信じこんだのではないか???

「国民」の側ですべきだったこと・するべきこと

- 「国民の理解」を得るための(かなりデタラメな)説明についてはそれはおかしいというのは理解したほうがいいのではないが、、、
- 少なくとも事故が起こったあとの今、事故が起こる前と同じようなやり方で運転再開、というのは受け入れないほうが、、、

科学(物理)教育としては

- ある意味、科学教育の非常に有効な題材
 - － 物理が我々の生活に直接現れる機会
 - － 科学研究はどのようなものか、場合によってはどういう問題が起こるか(理想的には、それがどう解決されるか)ということを経験する機会
- 文部科学省のおぼえはめでたくなるかもしれない。あんまり無視するわけにもいかない問題？
- 国立天文台教授で計算機センター長の身分のままだったら私もこういう発言できたかどうか(自主規制的な意味で)

文部科学省と原子力研究

- 総予算5兆、文教4兆、科学技術1兆
- 原子力は2000億、科学技術関係予算の2割を占める(この10年でだいぶ減ってる)
- ちなみに理研の予算は830億(そのうち250はSpring-8と「京」、BSI, CDB 58, 29 ...)
- この2000億はもうちょっとなにか役に立つ可能性があることに使うべき、というのはいったほうがいいのかも、、、

まとめ

あんまり簡潔にまとめられないので、、、

もうちょっと色々なこと

いただいていた質問等:

1. 事故当時原子炉内にはどんな物質がどのようにあり、事故によってどのように出ていったのか。セシウムが中心なのはなぜか、また原子で飛んでいったとは考えにくい化合物のかたちか？
2. 牧野さんは放出量を見事に見積もられたが、高校生にもできるその方法は？
3. 今の炉内はどうなっているのか。どういう物質がどういう形で？
4. 今も外に出ているのだろうか。また汚染の現在とこれからの予想は？
5. 科学者やマスコミや政府広報はなぜ間違ったのか。
6. TA100 などによる測定法と統計処理の方法。これは、また起こったとき？高校生でも測定ができるように。小石川高ではコンプトン効果や の扱いなど生徒と議論しました。

7. 甲状腺がんのリスクの読み方が一例になると思いますが、被ばく影響の評価について。100mSv以下では健康に影響ないとする言葉を振りまく人たちの問題点。
8. だまされないために小中高の物理教育に必要なこと。また牧野さんは大学で教えておられますが、大学教育の現場で考えておられることがありますか？
9. 美味しんぼの鼻血問題の分析

というわけで、順番に。

質問1

事故当時原子炉内にはどんな物質がどのようにあり、事故によってどのように出ていったのか。セシウムが中心なのはなぜか、また原子で飛んでいったとは考えにくい化合物のかたちか？

手抜きな回答ですが、(旧)原子力安全基盤機構のレポートをみるのが、、、セシウムが中心、というより、放出されやすいいくつかの元素の中で半減期が10年程度と長いのがセシウム、ということになるのではないかと。実際のセシウムの形状は、化合物と金属微粒子の両方がみられたようです(放出日によるらしい)。

質問2

牧野さんは放出量を見事に見積もられたが、高校生にもできるその方法は？

これは一応話をしたということで

質問3

今の炉内はどうなっているのか。どういう物質がどういう形で？

すみません、正直なところ良くわかりません。セシウム、ストロンチウム、超ウラン元素が中心と考えられますが、、、

質問4

今も外に出ているのだろうか。また汚染の現在とこれからの予想は？

大気中にでている量は普段は非常に少なくなっています。7月に報道されたように、去年の8月にはがれき撤去工事に伴ってテラベクレル程度のダストが舞い上がり、南相馬市の水田を汚染した(米が汚染された)模様です。

地下水や海にむけては少なくない量が流れだしているようです。問題はこちらで、いわゆる汚染水処理の目処が全くたっていません。「これができてないといけない」ステップが色々なあるわけですが、いくつもできていない、という状態で、最悪の場合、とめどもなく海に主にストロンチウムを含む汚染水が流れだす、ということになります。

海に流出したものが、どれくらい影響があるかはよくわかりません。総量では、これまで核実験とかでばらまかれた量に比べるとまだ桁で少ないはずですが、、

質問5

科学者やマスクミや政府広報はなぜ間違ったのか。

これは少し議論したので省略

質問6

TA100 などによる測定法と統計処理の方法。これは、また起こったとき？
高校生でも測定ができるように。小石川高ではコンプトン効果や の扱い
など生徒と議論しました。

色々詳しくはここ

質問7

甲状腺がんのリスクの読み方が一例になるとと思いますが、被ばく影響の評価について。100mSv以下では健康に影響ないとする言葉を振りまく人たちの問題点。

これは、以下の問題があると思います。

- 現在のところ「標準的な理解」ということになっている、ICRP/IAEA/WHOの見解を細かく見ると、色々影響を過小評価している可能性があるところがある。いくつか間違いがあればすぐに1桁程度数字は変わるので、あまり信用するのは危険かもしれない。
- ICRP/IAEA/WHOの見解に比べてもさらにずっと大きな被曝をしても問題ないといったことを専門家と思われる人もいうことが珍しくない。

これは、結局のところ、人間というのはそういう楽観的なもので、集団になると一層そうなる、という以上の理由はないのかもしれない。科学的方

法というのは、そういう根拠のない楽観主義に対抗して、現実的な判断をするためにこそあるもの。

質問8

だまされないために小中高の物理教育に必要なこと。また牧野さんは大学で教えておられますが、大学教育の現場で考えておられることがありますか？

ものすごく単純ですが、科学としては「主張されていること」ではなく「データが示していること」がなにかを考えること、そのために必要な知識と考え方を身につけること、となると思います。

ある程度までは、「ある人の主張はその人の立場や利害や感情によってバイアスがかかっているかもしれない」ことを考慮して、人によっていうことが全然違う時には何が正しいかを考える、ということも必要と思います。

大学では、今は主に大学院生の研究指導ですが、ここでは、基本的に論文の文章に書いてあることではなく、データや式が意味することを読み取り、さらに実験の設定や方法等にも問題がないかどうかもある、というのが基本的なことだと思います。

質問9

美味しんぼの鼻血問題の分析

すみません、まとめる時間がないので、「科学」にかいた原稿ベースで、興味がある方がいらしたら話をします。