原発事故から学べること — 科学的に考えるためには?

牧野淳一郎 東京工業大学理工学研究科 理学研究流動機構

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
 - 放出された放射性物質の量
 - 身の回りの空間線量
 - 食品
- まとめ

自己紹介

● 職歴

```
2011/4- 東工大理学研究流動機構 教授
2006/6- 国立天文台理論研究部 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
1994/4- 東京大学教養学部情報図形科学教室 助教授
1990/4- 東京大学教養学部情報図形科学教室 助手
天文(天体物理)学者?
```

● 学歴

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 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 1985/3 東京大学教養学部基礎科学科第二卒業 (学科名からはなんだか全然わからない)

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

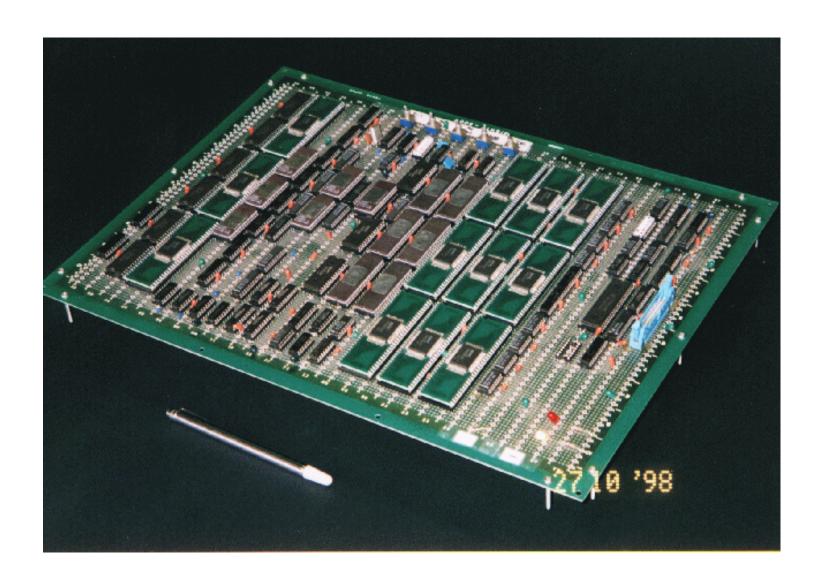
計算機開発

20年くらいだらだらやっている。

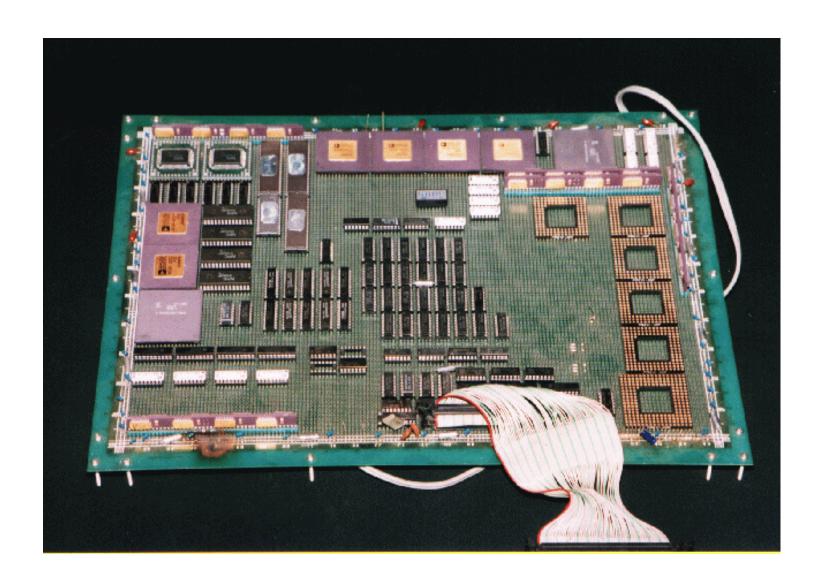
- 1989- GRAPE (Gravity PipE): 重力多体問題専用計算機
- 2004- GRAPE-DR (Greatly Reduced Array of Processor Element with Data Reduction):

「汎用」アクセラレータ

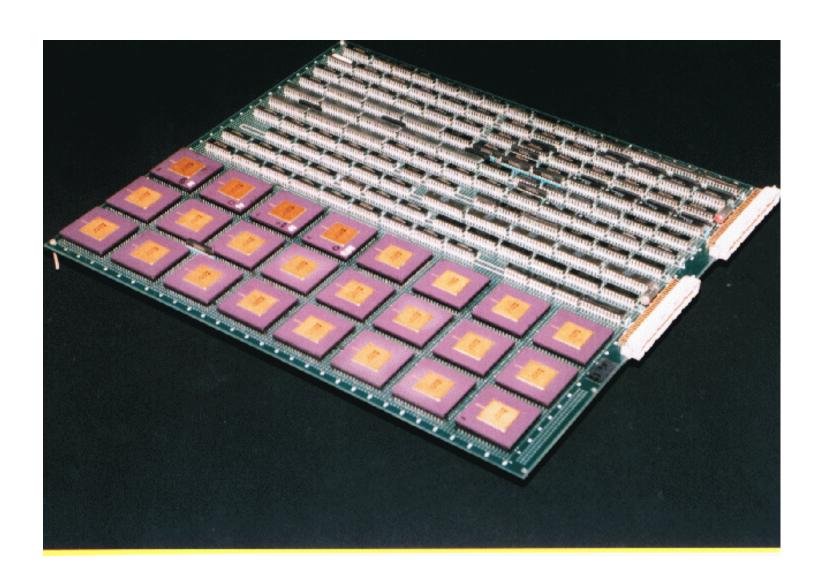
GRAPE-1(1989)



GRAPE-2(1990)



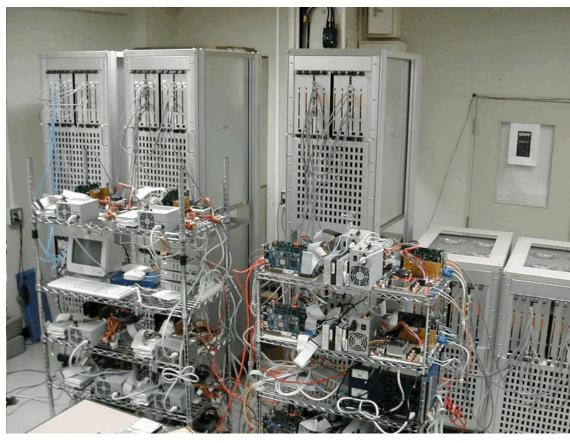
GRAPE-3(1991)



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

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

端的にいえば: 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」っていってる?
- 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」

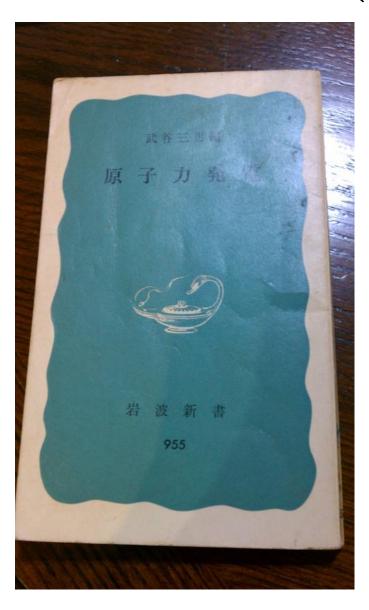
発表・報道	「事実」(現在の時点での)
INES レベル5	INES レベル 7
1000 テラベクレル程度	77万テラベクレル $(3/18$ までだと半
	分程度?)
圧力容器・格納容器はどれも健全	1-3 号機でメルトダウン、圧力容器・
	格納容器破損
放射性物質の深刻な放出はない	関東北部から岩手県にいたる広汎な
	汚染

- 放射性物質の放出量について 1000 倍程度嘘をいっていた
- 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

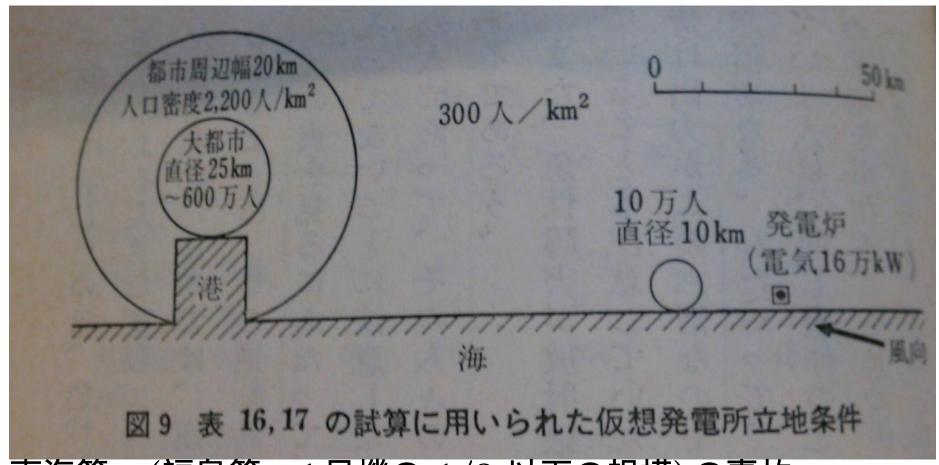


岩波新書 「原子力発電」 武谷三男編、1976

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



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

100000000000000000000000000000000000000	全 放 出				
	立退き	耕作禁止(農村) 半年退避(都市)	農業制限	全損害金額	立退き
粒度大 気温逓減 乾燥	35,300	8,000,000	平方キロ 36,000	億円 11,000	人 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	1 13		24.00		
気温逓減 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

首都圏全面避難もありえる

避難基準

	· · · · · · · · · · · · · · · · · · ·	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
В	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	0.0006	0.00004
	農村は立退き (1年で5レムに達する)		
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、なにが起こって るか見極めないと危ない

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るとわかった

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

皆樣

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

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 $500 \mu \mathrm{Sv/h}$ 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 1Sv/h = 12Ci/m²
- 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。

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

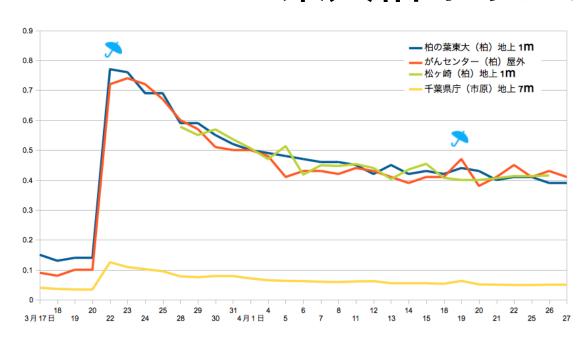
放射性物質はまだ身の回りにあり、その影響はまだ良くわからない

- 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

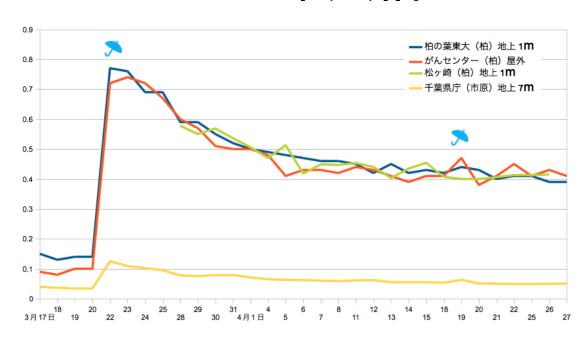


東大、がんセンターの測 定データで 3/20 に急上 昇

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、

福島の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、

福島の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

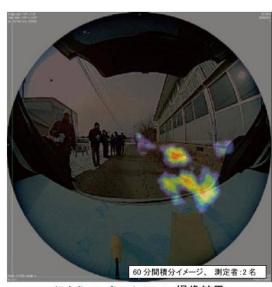
海外の例

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

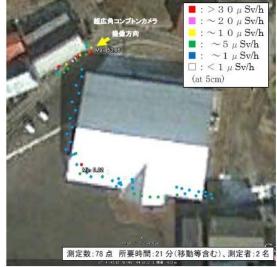
In May 1986, following the Chernobyl accident, upland areas of Britain suffered heavy but highly variable deposits of radioactive caesium isotopes, which were raind out by localised thunderstorms. The effects of this radioactive fall-out were immediately dismissed by scientists and political leaders 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「大したことない」と、、、)

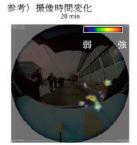
ちなみに: 高エネルギー天文学も貢献

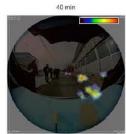


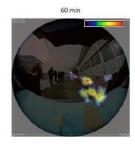
超広角コンプトンカメラでの撮像結果



ガンマプロッターHでの測定結果







● 線で「撮像」

- 宇宙研、高橋さんのグループが開発
 (ASTRO-H搭卸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。

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?

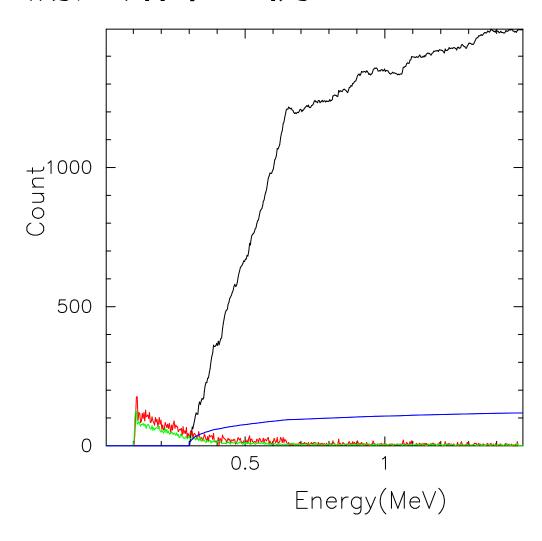
牧野の自宅の測定環境

- 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)
- 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 1.5Bq (100g サンプルで 15Bq/kg、 300gなら5Bq/kg) (遮蔽なしだと 7Bq くらい)

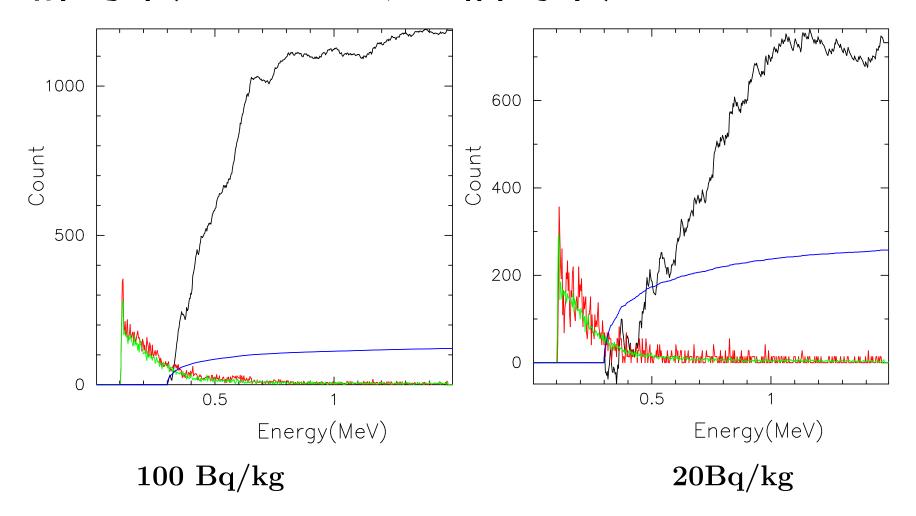


測定結果の例



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 ± 30Bq/kg

群馬県産しいたけと福島県産リンゴ



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
- ●「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、科学者のいってた 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う感じだったか?

- ●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に流れたメイルから

「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

0原シ報-0003

平成21年度 地震時レベル2PSA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。

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

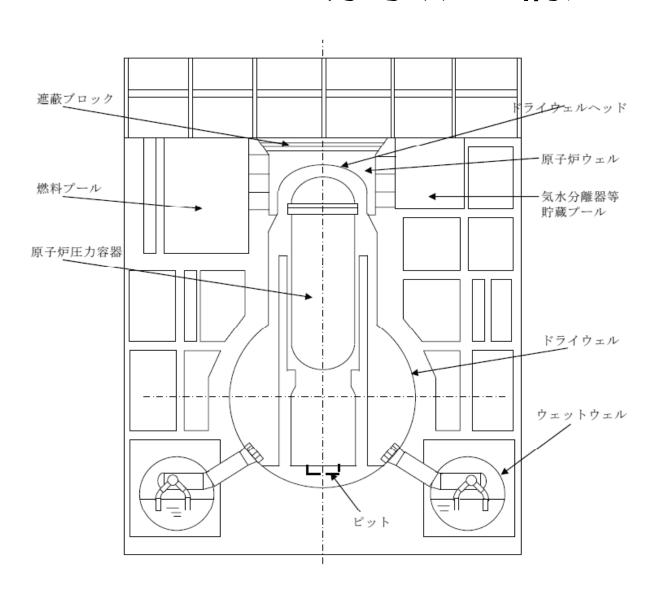
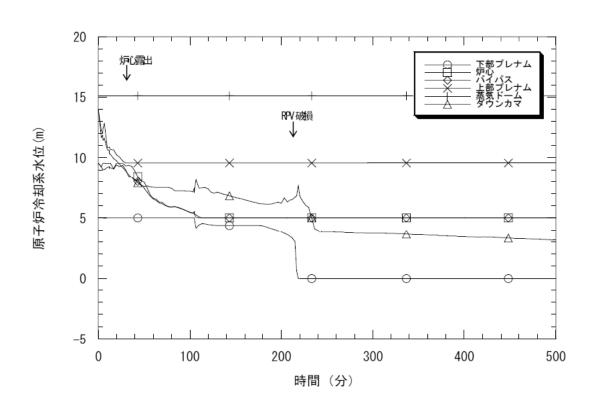


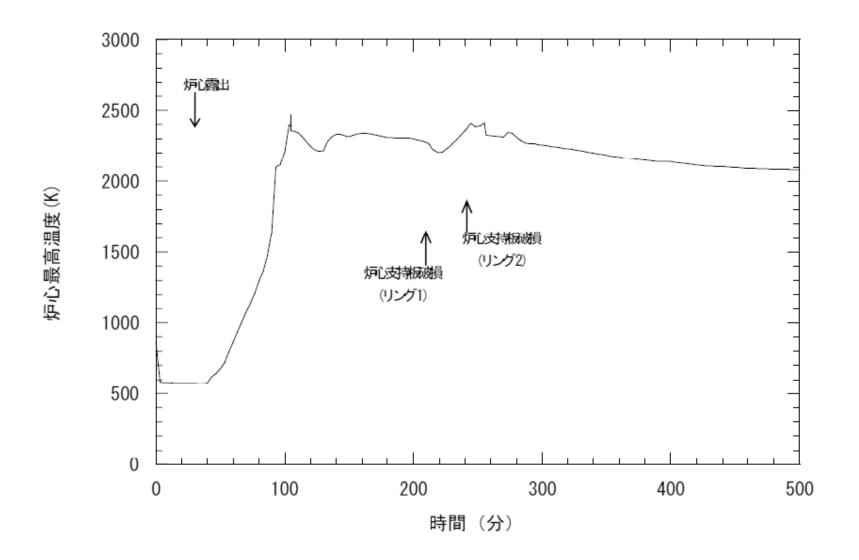
図 2.6 BWR-4 MarkI 型の原子炉建屋概要図

電源喪失のシミュレーション結果詳細 (BWR-4の場合)

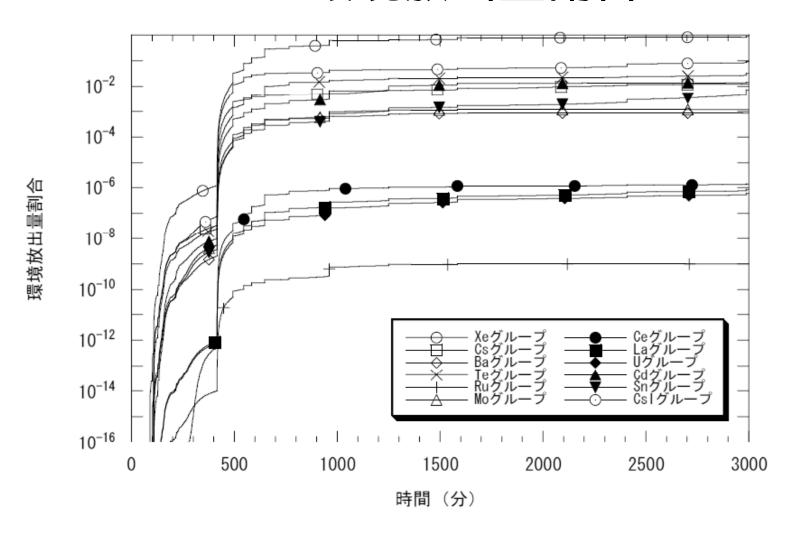


- 1時間で炉心露出
- 3 時間で圧力容器破 壊

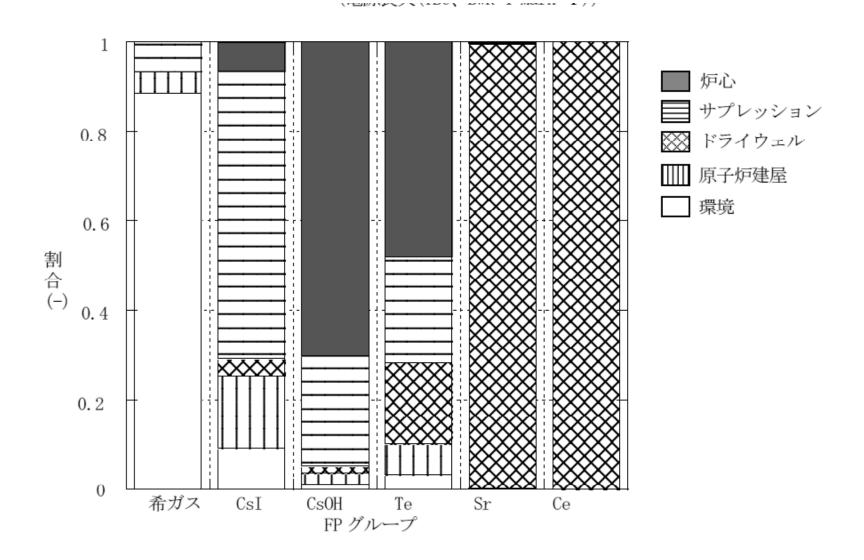
炉心温度



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) でだらだら続く。
- 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。

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関する質問主意書これの要点は地震、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。

まとめ

- 研究のやり方は色々
- 私の場合はシミュレーションが道具。そのための計算方法・ 計算機を作ることも研究の重要な一部
- 計算方法とかの研究は普通の意味での理論研究に近いところも。
- シミュレーション天文学の方法は他の分野でも実際に役に 立っている
- 理論天文学的アプローチは役に立つ(こともあるかもしれない)