

2016/12/3市民対話イベント「高レベル放射性廃棄物とわたしたち」
@中部大学

地層処分政府方針のまちがい

立場を明示した対論話題提供

林 衛(富山大学人間発達科学部
科学技術社会コミュニケーション研究室
教科教育学・市民社会メディア論/
科学編集者・ジャーナリスト)

hayashi@scicom.jp

立場を明示した「専門家」

- 笹尾 英嗣(日本原子力研究開発機構東濃地科学センター地層科学研究部グループリーダー, 地質学)*
- 山川 稔(元動力炉・核燃料開発事業団総括主任研究員, 地質学)*
- 林 衛(富山大学人間発達科学部准教授, 科学技術社会論)

* 所属する組織を代表してではなく専門家個人としての参加

地層処分とは、未知なる地球を舞台にした「わたしたち」による賭け

- その賭けの科学的・社会的性質を明らかにするのが科学批判・科学技術社会論の立場

沈み込むプレートが海水を火山の下まで運ぶ

2013年5月28日

川本竜彦 理学研究科附属地球熱学研究施設助教、芳川雅子 同教務補佐員、熊谷仁孝 理学研究科大学院生（現在、北村国際特許事務所弁理士）、小林哲夫 鹿児島大学理工学研究科教授、奥野亮 福岡大学理学部地球科学科教授、ハナ・ミラプエノ フィリピン地震火山研究所研究員（現在、ニュージーランド・クライストチャーチ市議会職員）らの研究グループは、沈み込むプレートから海水がマントルに加わる現象を発見し、新しい仮説を提案しました。

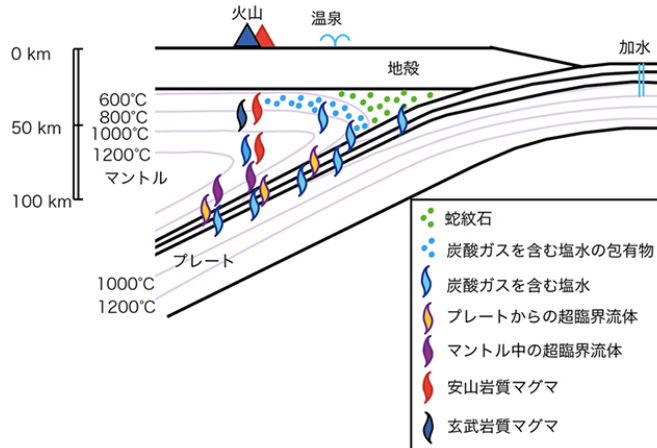
本研究成果は、5月28日（米国東部時間）の米国科学アカデミー紀要の電子版で公開されました。



川本助教

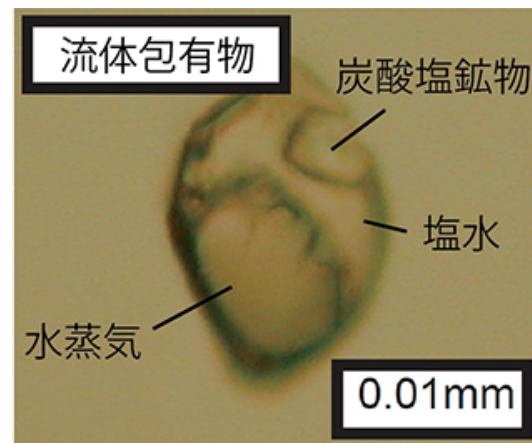
概要

日本列島の下には、日本海溝から太平洋プレートが、南海トラフからはフィリピン海プレートが沈み込んでいます。今回の報告では、天然のマントルの岩石を観察し、沈み込むプレートがマントルに海水を運んでいると提案しました（図）。



図：提案する仮説

海洋プレートは海溝付近で海水を取り込み、沈み込むとマントルに海水を出す。さらに深く沈み込むと海洋プレートからマントルに加わる流体は超臨界流体となるが、その塩濃度はまだ推定されていない。



写真：マントル捕獲岩中の流体包有物の顕微鏡写真

流体包有物は、炭酸塩鉱物と塩水と水蒸気から構成される。大きさは0.03ミリメートル。この流体包有物を冷やして氷が凍ったり溶けたりする様子を顕微鏡を使って観察する作業は、辛抱強さを要求する。

京都大学プレスリリース
2013年5月18日付から

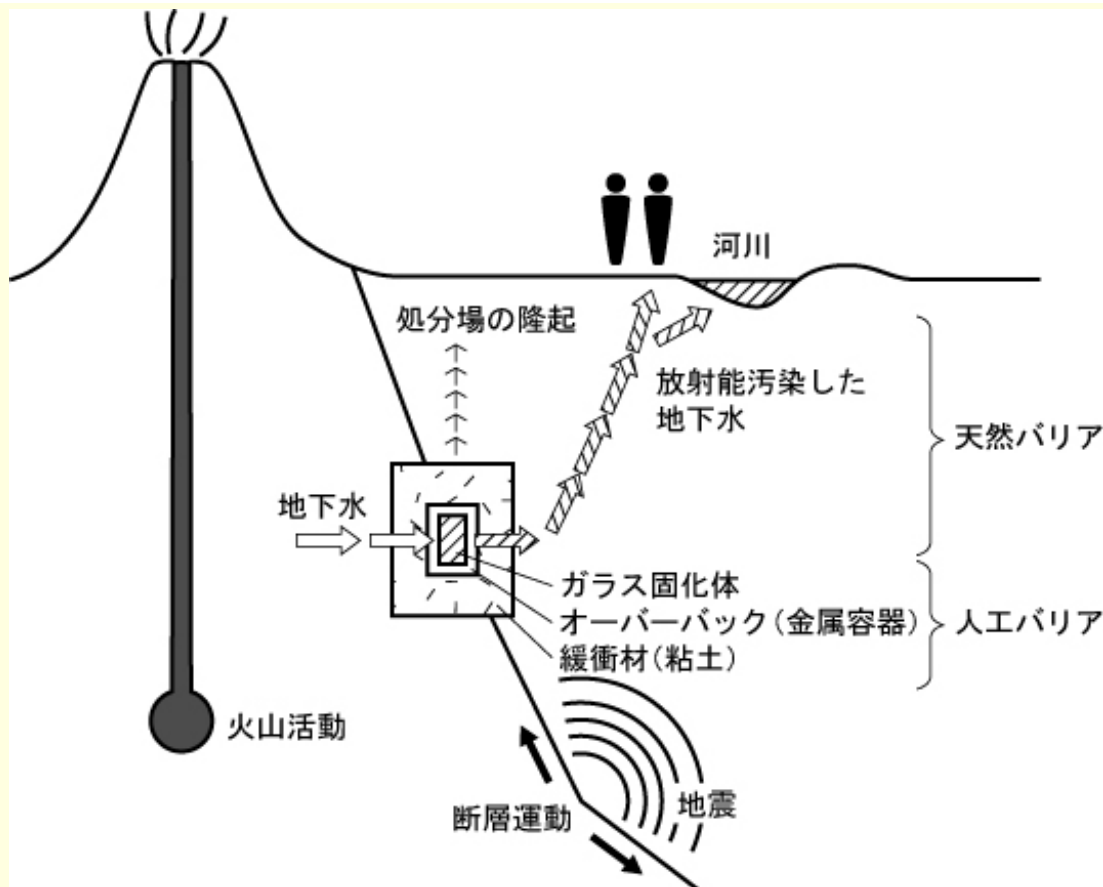


図3 地層処分の概念と地下水の影響など考慮すべき天然現象（‘第2次取りまとめ’ (2)を参考に作図）。

地層処分では、“人工バリア”と“天然バリア”からなる“多重バリアシステム”によって、たとえガラス固化体の放射能が漏れ出したとしても、人間の生活圏に影響を及ぼさないようにするとされている。人工バリアはガラス固化体から地下水へ放射性核種が溶け出すのを防ぎ、天然バリアは地下水に溶けた放射性核種の移動を抑えることが期待されている。“適切な処分地選定”によって、重大な地質活動の影響を避けるという。

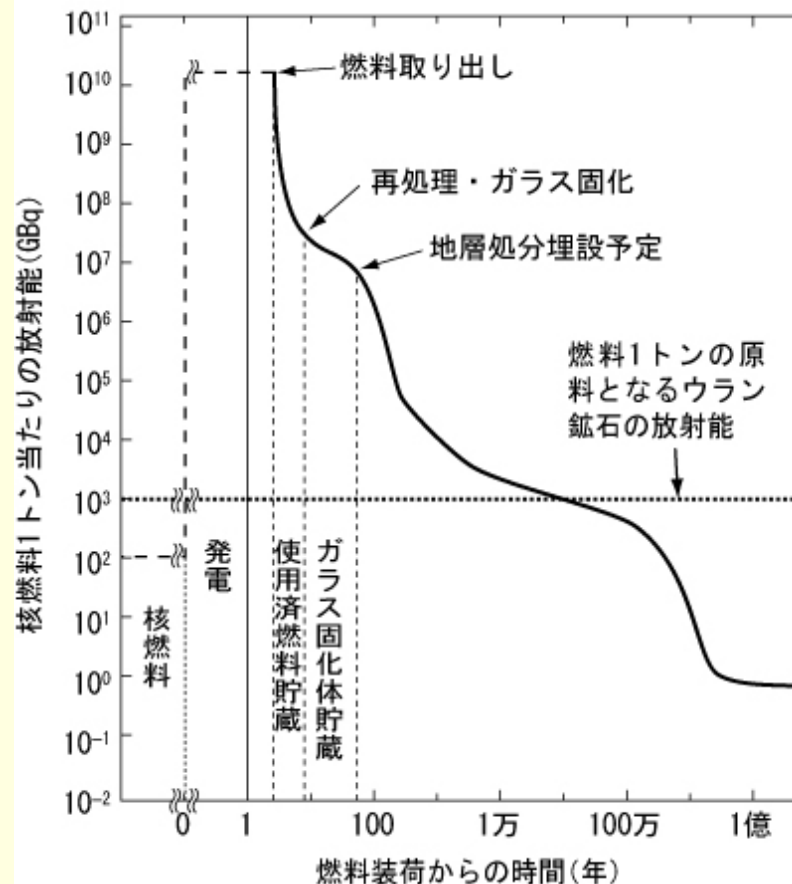


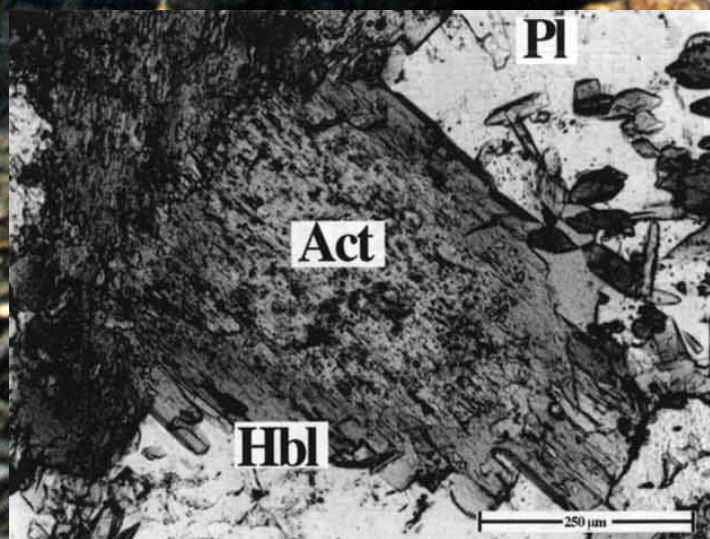
図2 核燃料1トンの放射エネルギーの時間変化（‘第2次取りまとめ’ (2)をもとに作成）。

核燃料は、発電に利用することで大きな放射能をもつようになる。原子炉から取り出した直後は、放射能の強い半減期およそ1年未満の核種の減衰を待つため、使用済み燃料のまま貯蔵プールで冷却保管される。4,5年後に再処理してガラス固化したあとは、30～50年保管して崩壊熱が下がるのを待って地層処分する予定になっている。数万年後の放射能は、燃料製造に必要なウラン鉱石の全放射能と同程度まで減少するが、もともとのウラン鉱石（品位1%としても燃料1トンの製造に750トンを要する）よりは質量が少ない分だけ濃縮されていることになる。なお、使用前の核燃料の放射能が燃料製造に要するウラン鉱石の放射能より弱いのは、燃料製造ではウラン鉱石から製錬によって天然ウランを取り出し、さらにウラン235を濃縮するため、核燃料に使われるウランは原料鉱石のごく一部にすぎないためである。

批判的思考力とは、そして

- 批判的思考とは第1に証拠に基づく論理的で偏りのない思考である。
- 第2に自分の思考過程を意識的に吟味する省察的(リフレクティブ)で熟慮的思考である。
Cf: 日常語の非難・批判とのちがい
- そして第3により良い思考を行うために目標や文脈に応じて実行される目標指向的な思考である。
(楠見2013)

■ ■
岩石の星地球の歴史を研究
94年岩波書店『科学』編集部へ



科学雑誌は本当は売れる！

- 出版不況の中、20数年ぶりに部数減に歯止めがかかり、上昇傾向がみえた→『わかりやすく』から『あなたの重要な研究を魅力的に』と強調

Science Journal **KAGAKU**

WEEK-END: 9:00 A.M. - 1:00 P.M.

特集：氷河時代末期
人類はどう生きたか

[illegible]

Figure 1

科学

Science Journal **KAGAKU**

7

2016年5月11日 10:00

時業：ブルームテクノロジクスが
開く新しい地球誌

[illegible]

附錄 1

科学

Science Journal **KAGAM**

VOLUME 50, NUMBER 1, JULY 1998

特集：環境ホルモンの現在
と未来を取り戻すために

[illegible]

歡迎訂閱

科学

Science Journal **KAGAKU**

10

VOLUME 70 NUMBER 10 OCT., 2000

緊急読書：なぜ、科学を学ぶのか

（附註）：本報上週六、日、中版，報導香港銀行業，曾引述香港銀行業協會主席李國章的說法，指香港銀行業「正處於一個非常困難的時期」。本報記者又曾於上週六、日，分別訪問香港銀行業協會秘書長李國章及香港銀行業協會副秘書長李國章，他們均表示，香港銀行業正處於一個非常困難的時期，並表示，香港銀行業正處於一個非常困難的時期。

（新課程）英語閱讀理解 1000 題精選



歡迎參觀

科学

Science Journal **KAGAKU**

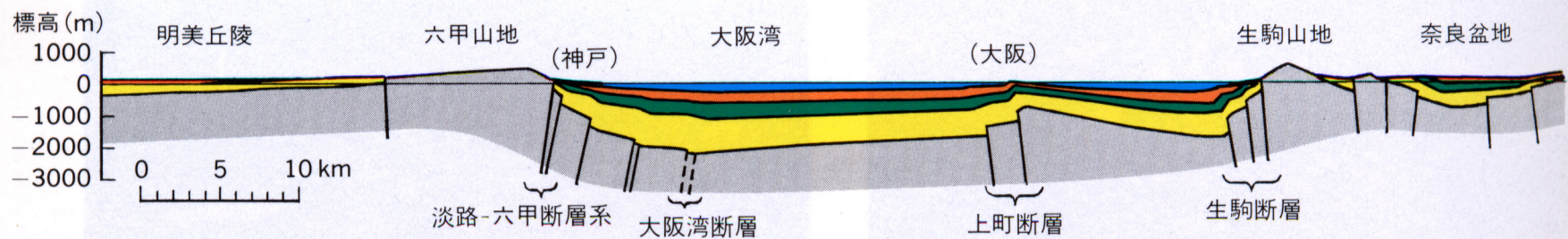
4

VOLUME No. 4 APRIL 2000

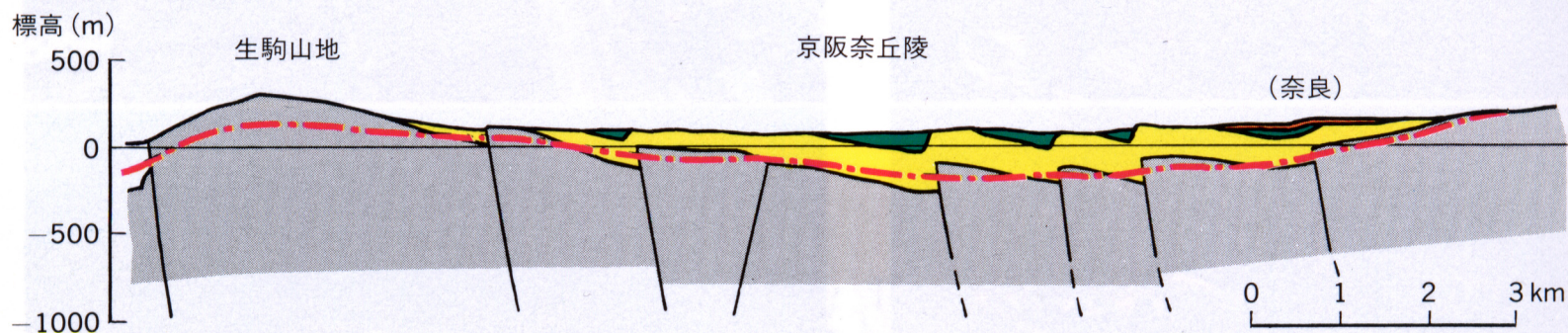
特集：ヒトゲノムからみた
新しい生命観・人間観

[illegible]

歡迎垂詢



(f)



断面図凡例
(e)(f) 共通

- 沖積層・上部洪積層
 - 上部亜層群
 - 中部亜層群
 - 下部亜層群
 - 基盤岩類
- 個々の断層変位をならして基盤表面を連ねた面

“啓蒙”ジャーナリズムの限界？
そして
戦後日本の科学教育の失敗？



- ①海岸がけずりとら
平らな面ができる
- ②土地が隆起して、
な面が陸地になる
- ③さらに隆起して、
の海底は段丘面に

シリーズ■大震災以後〈第14回〉

原発震災

破滅を避けるために

石橋克彦

地震列島日本で、原子力発電所(原発)の原子炉が現在51基運転されている(図1)。

通産省⁽¹⁾は、原発は建設から運転まで十分な地震対策が施されているとして、以下の項目を挙げている: (1)活断層の上には作らない, (2)岩盤上に直接建設, (3)最大の地震を考慮した設計, (4)大型コンピュータを用いた解析評価, (5)自動停止機能, (6)大型振動台による実証, (7)津波に対する対策。しかし、本当に耐震安全性は万全なのだろうか。

想定地震に関する致命的誤り

上記のうち(1)と(2)は当然のことであり, (3)が適切かどうかは基本的に重要である。

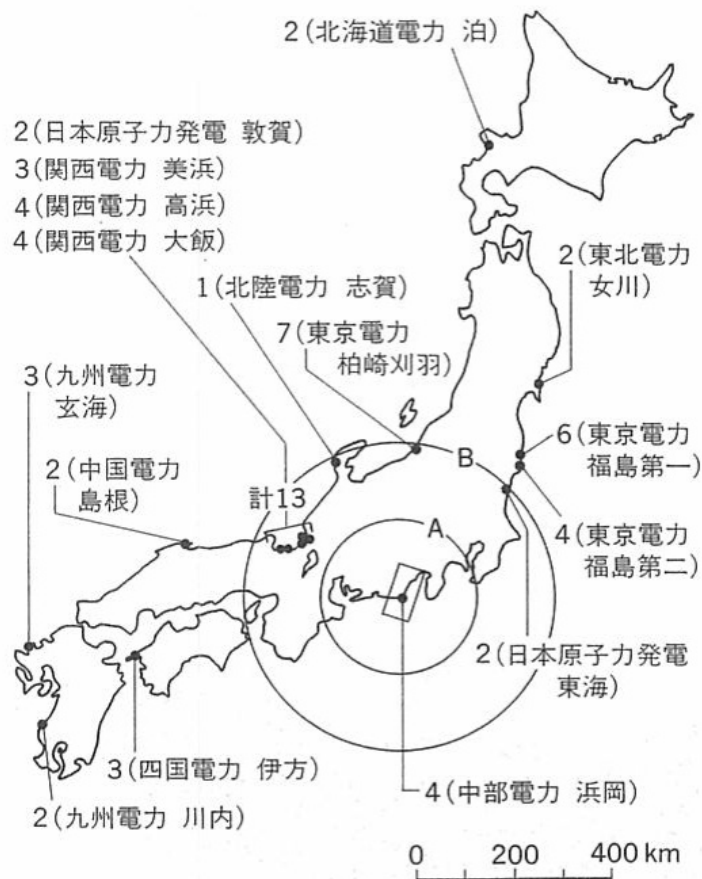


図1 日本の原子力発電所の分布。数字は運転中の原子炉の数。浜岡原発を囲む矩形は東海地震の予想震源断層面の地表投影⁽⁵⁾。円は、浜岡3号炉が炉心溶融をおこしたときの風下側の長期避難領域を示す⁽¹⁰⁾(Aはチェルノブイリ事故の際に旧ソ連が設定した基準, Bは白ロシア共和国が設定した基準による)。

わないように設計する。しかし実は、これらの作業の根底をなす地震の想定が根本的に間違っており、したがってそれにもとづく地震動の評価と耐

原発震災とは

- 地震による被害と原発過酷事故の同時発生
- 震災への緊急対応を遅らせ、復興を長引かせる
- 過去の公害事件と同様:「科学(者)」がかかわる人権侵害(功利主義的な価値観で少数被害者の健康, 生活が脅かされたままになる)
- 予想: 情報隠蔽・ねじ曲げと低線量被曝問題での混乱

#現在進行形の問題

予見されていたが防げなかった 「原発震災」

- 「石橋氏は東海地震については著名な方のようであるが、原子力学会、特に原子力工学の分野では聞いたことがない人である」(斑目春樹氏)
- 「石橋論文は、書いてあることが相当本質をつくものであれば関連学会で取り上げられるはずだが、保健物理学会、放射線影響学会、原子力学会で取り上げられたことはない」(小佐古敏荘氏)

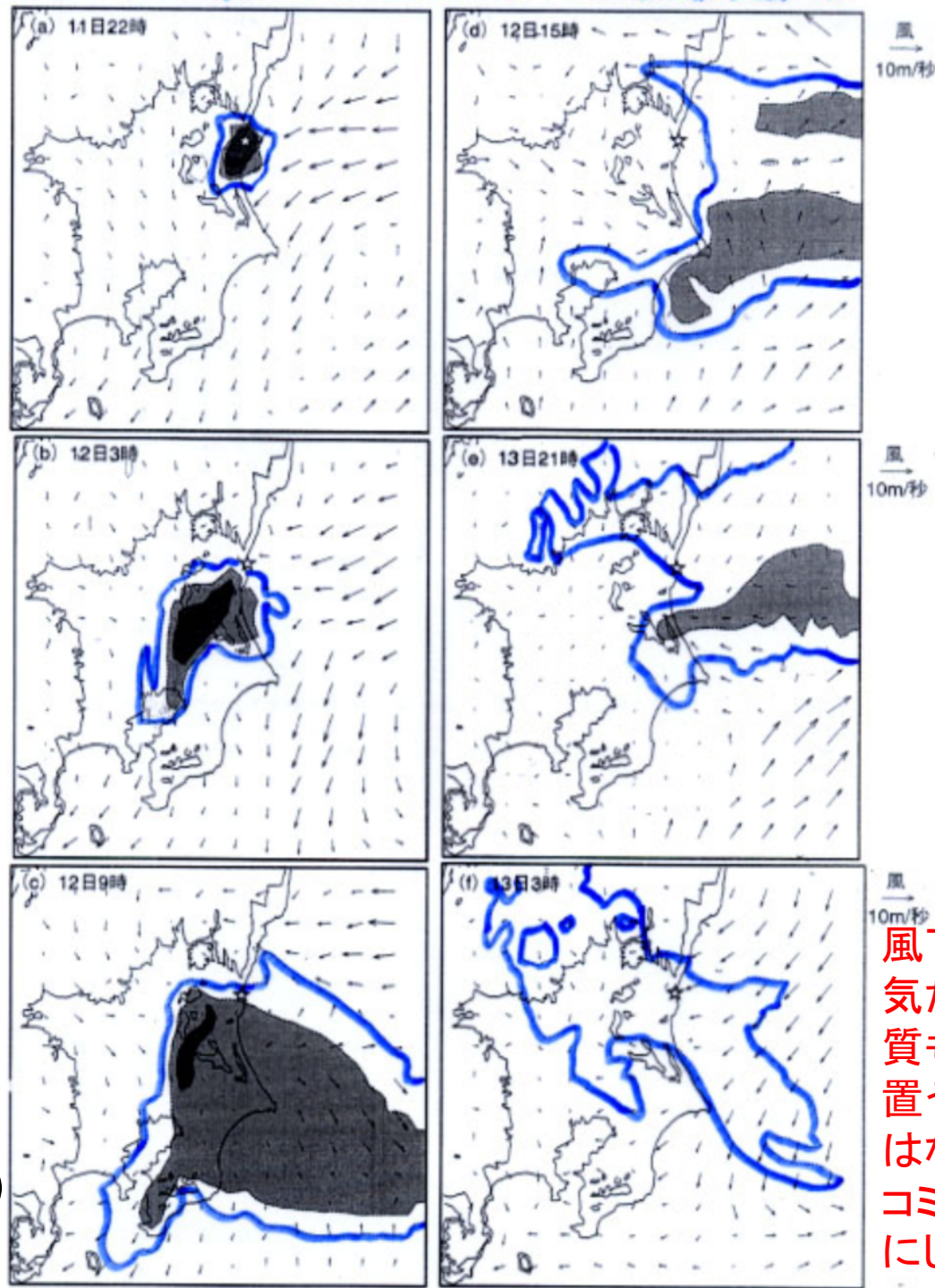
資源エネルギー庁公益事業部原子力発電安全企画審査課長：雑誌「科学」10月号に掲載された石橋克彦氏の論文に対する見解について(回答)1997年12月24日付静岡県総務部防災局長宛；科学7月号(2011)に転載

修正不能な科学技術者たち

- 1995年兵庫県南部地震で1000ガルを越える地震入力は珍しくない(原発の耐震設計は最大300ガル, 400ガル程度)。
- 動燃「もんじゅの下には活断層がないので安全」とのパンフ→ナトリウム火災, ビデオ隠し。
- 高経年化しても初期故障が減るから危険とはいえない(岡村・東大工学部長)
- 2007年中越沖地震で, 柏崎刈羽原発が被災し, 危機一髪だったのに「安全性の証明」
- 旧型のマーク1福島原発すら「安全」。免震重要棟の増設が結果的に一定の歯止め。

97年3月東海村アスファルト固化施設爆発事故

放射性セシウムの挙動(数値実験)



「同心円」を越えて放射性物質が広がる事実を示す図を地震発生直後にネット上に公開した。

チェルノブイリ取材経験のあるジャーナリストはみな気づいていたが、「できるわけない」と報道を躊躇するばかりだった。

風下側の都市圏には電気だけでなく放射性物質も届くが、自治体に設置や稼働について権限はなかったのも裏リスクコミュニケーションを可能にした。

国策の前提を問いかえす科学の 機能を忘れた「専門家」

- 部分的な結果の観察から復元可能なのは、過去に生じた過程の一部にすぎない
- その作業によって得られた知見をもとに予測できるのは、ありえる未来のごく一部にしかすぎない
- 上記への自覚を欠いた楽観主義は、自然の現実からしっぺ返しを受ける（原発震災によって、警鐘が杞憂に留まらず
- 前提の見直しを忘れない探究的態度が重要

背後にあるのは、原子力技術がかかえ続けている原理的困難

- 専門家の良心，道徳心だけでは解決困難：
「原子力のような巨大科学技術は、全体のシステムが巨大化すればするほど個々の側面に関わる科学技術者・管理者・労働者・行政者を細分化した専門家に仕立てる。人々は細部にのみ通じ，全体に対しては無前提で忠誠を誓うようになるだろう」(高木仁三郎)
- 前提となる強固な国策が自然の現実に反しているため矛盾が拡大しているが，修正不能状態に陥ってしまっている

赤字部分全面修正は事実上不可

- 「技術的未成熟」拡大→解決そのものが困難
→ **技術学習曲線が負**，すなわち，研究をすればするほど技術的課題が浮かび上がり，安全のためのコストが増加していく必然
- **開発研究が「隠蔽主義」**（そのほか軍事技術であること，経済帝国主義競争化の国策巨大開発も隠蔽原因）になる必然
- 放射線健康影響は未解明かつ過小評価のため，**被曝による人権侵害**大規模化不可避
- 「裏リスクコミュニケーション」という**民主主義の悪用**なしに拡大困難→**人権侵害の悪循環**

図3 技術学習曲線

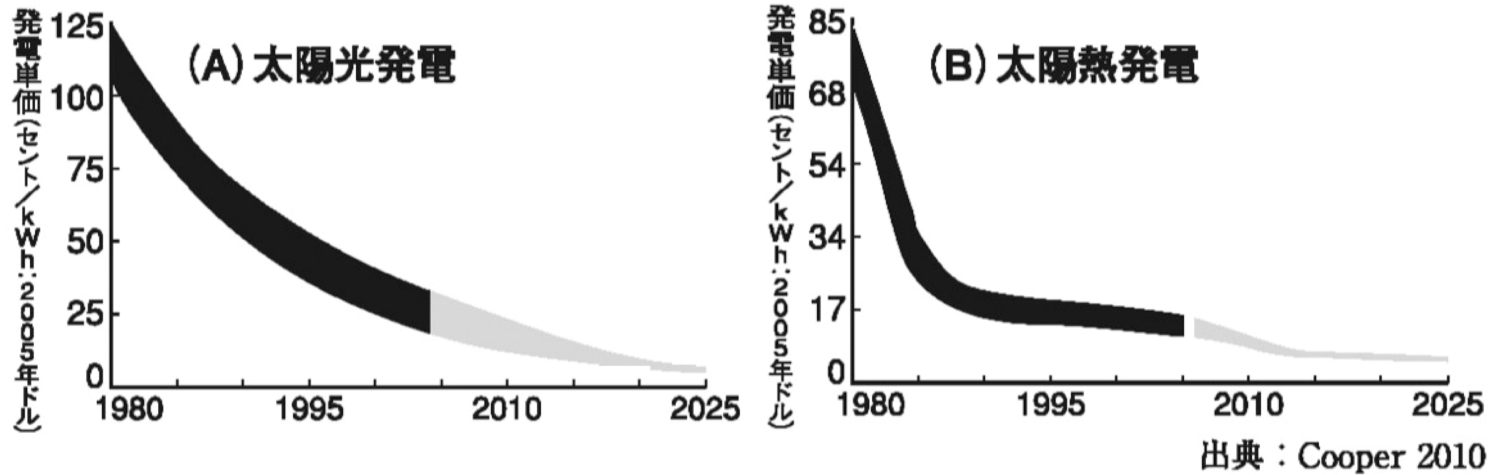
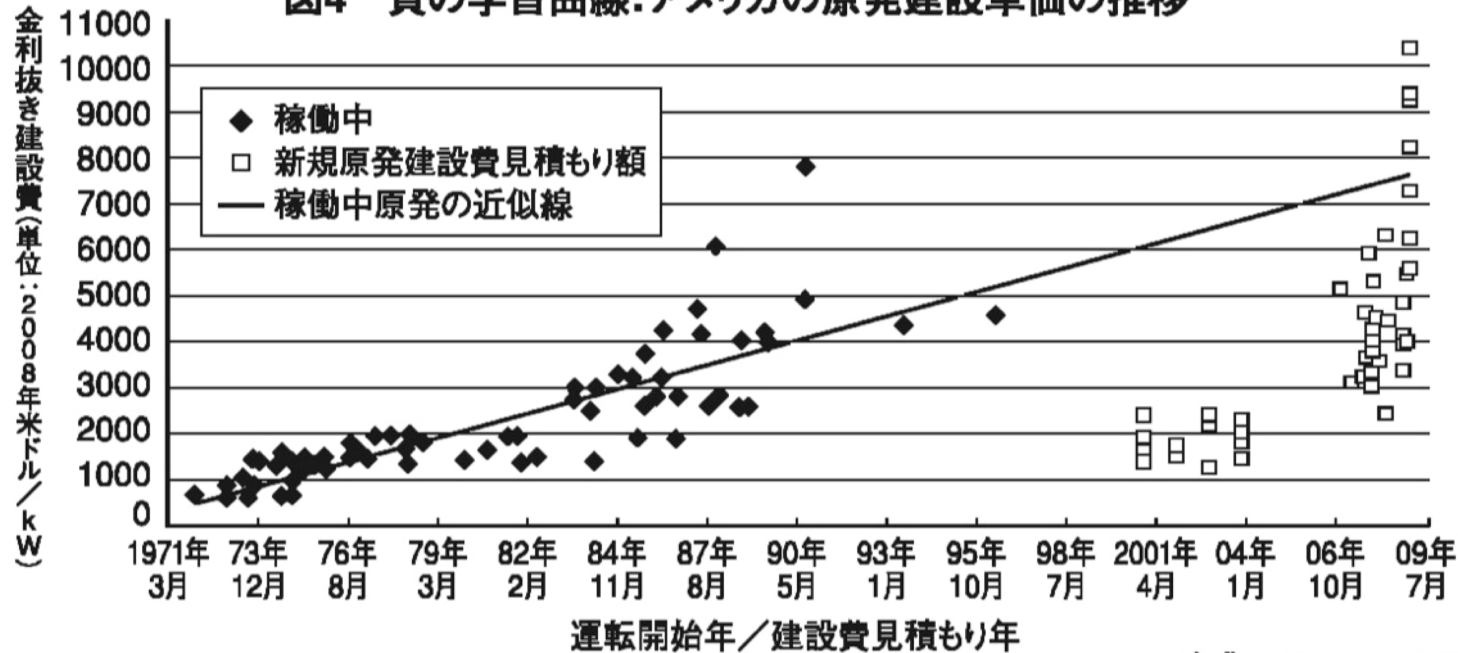


図4 負の学習曲線:アメリカの原発建設単価の推移

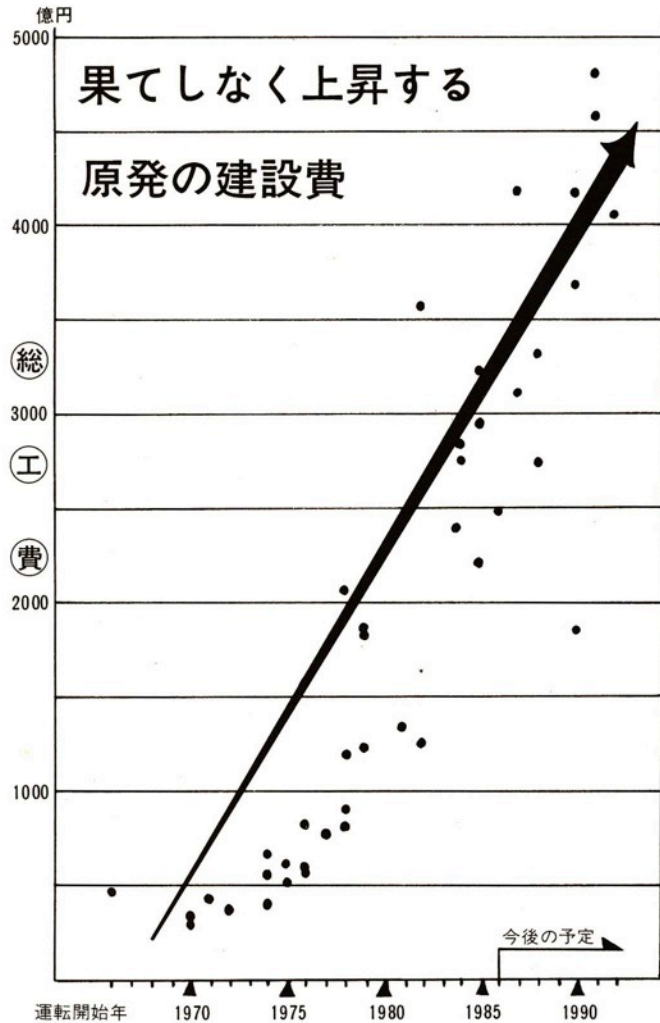


シュナイダー:世界2011年1月号

出典: Cooper 2010

技術学習曲線が「負」である発展途上の技術開発では、技術者による改善提案が価格上昇をもたらすために採用されにくい。改善点の発見そのものが歓迎されない事態まで生じうる。

既知の事実！



何も知らなければ、これらの電力会社の株を買ってしまうところか。その裏の事情は建設現地を歩くと分るが、すさまじいものである。たとえば北陸電力・能登原発では、反対する農民の田んぼにガラスの破片がばらまかれてきた。投資家は、このような産業の裏面を知らずに株券と債券を買う。
わが家にも、時どき新聞折り込み広告のなかに、次のようなものが紛れこんでいる。
——東京電力社債 安全確実 高利回り——



広瀬隆:東京に原発を!, 集英社文庫 (1986);原著は1981年刊行

チェルノブイリ原発事故は1986年4月

同じく2011年1月号OHM誌



最新鋭の大型原子炉計画紹介

「原子力発電は、供給安定性に優れ、発電過程で二酸化炭素(CO₂)を排出しないという特性を有することから、我が国における基幹電源としてこれまで以上に重要な役割を担うものとして期待されている。2030年前後から本格化が予想される代替炉建設(リプレイス)の円滑化は、我が国のエネルギーセキュリティを確保するうえで重要な課題である。」

表1 次世代軽水炉の開発目標

項 目	主な要件
1. 基本条件	電気出力 170 万～180 万 kW ただし、170 万～180 万 kW 設計と共通技術を採用して標準化効果を阻害せずに 80 万～100 万 kW に対応可能なこと
2. 安全性	国際的に遜色ない水準の炉心損傷頻度および格納容器機能喪失頻度 シビアアクシデント対策を設計上考慮
3. 経済性	建設単価：約 13 万円 /kW（成熟機） 建設期間：30 か月以下（岩盤検査～運転開始）かつ工期が遵守できること 時間稼働率：97%（寿命平均）、24 か月運転サイクル 設計寿命：80 年 発電コストは他電源に対し競争力を有すること
4. 社会的受容性	環境への放射性物質の大規模放出の確率を十分に低くできる設計であること 地震、津波に関する残余のリスクへの裕度を確保 米欧の航空機落下とセキュリティ対策に対応可能 従事者線量：現行水準を十分に下回るものであること
5. 運営・運転・保全	保守物量：現行プラントの 50% 削減 保守性向上、保守負荷の平準化 炉心設計：取出平均燃焼度 70GWd/t、全炉心 MOX に対応可 新技術はプラント導入時までには十分な成熟度を有すること
6. 国際標準	米国および欧州の許認可、規格基準へ対応可能なこと 立地条件によらない標準設計

「また、2030年から2050年の間に運転年数60年を迎える既設炉は、我が国を始め米国と欧州を合わせ約270基に上り、これらのリプレイス需要に加え、アジアや中近東の原子力新規導入国などの新設需要も拡大することが予想される。

我が国の原子力プラントメーカー3社は、すでに国際的な主要原子力プラントメーカーになっており、我が国原子力産業の持続的発展を確保するためには、国際展開を通じて競争力を維持・強化していくことが重要である。

次世代軽水炉等技術開発は、我が国の代替炉建設の円滑化、原子力産業の国際展開と競争力の確保、それらを支える技術と人材の維持・強化に資するものとして…」

笠井滋・大賀幸治・黒崎利和・山本知史・大野一郎・塩谷達也・都筑和泰・久田司（（財）エネルギー総合研究所、次世代軽水炉開発グループ）：次世代軽水炉（HP-ABWR/HP-APWR）の開発状況と今後の開発計画，OHM，1月号（2011）45-48

【国際】

日本受注のベトナム原発計画白紙 財政難理由、政権輸出戦略に打撃

2016年11月9日 18時31分

【ハノイ共同】ベトナム政府が、日本などが受注を決めた中部ニントゥアン省の原発建設計画を白紙撤回する方針を決めたことが分かった。ベトナム国会は9日、政府が計画の中止を求める決議案を10日に提出すると明らかにした。

ベトナム共産党は厳しい財政状況を踏まえ、原発計画を見直すよう政府に指示していた。原発輸出を成長戦略の一つに位置づける安倍政権にとって大きな打撃となる。国会は決議案を22日に採決にかける方針で、政府案通りに可決される可能性が高い。

ベトナム電力公社関係者は、原発推進という政府方針自体は変わらないとしているが、同国の原発計画は当面、棚上げ確実だ。



ベトナム中部ニントゥアン省に計画されている同国初の原子力発電所のイメージ図（ベトナム電力グループ提供・共同）

建設そのものが、100年がかりの 科学技術の挑戦

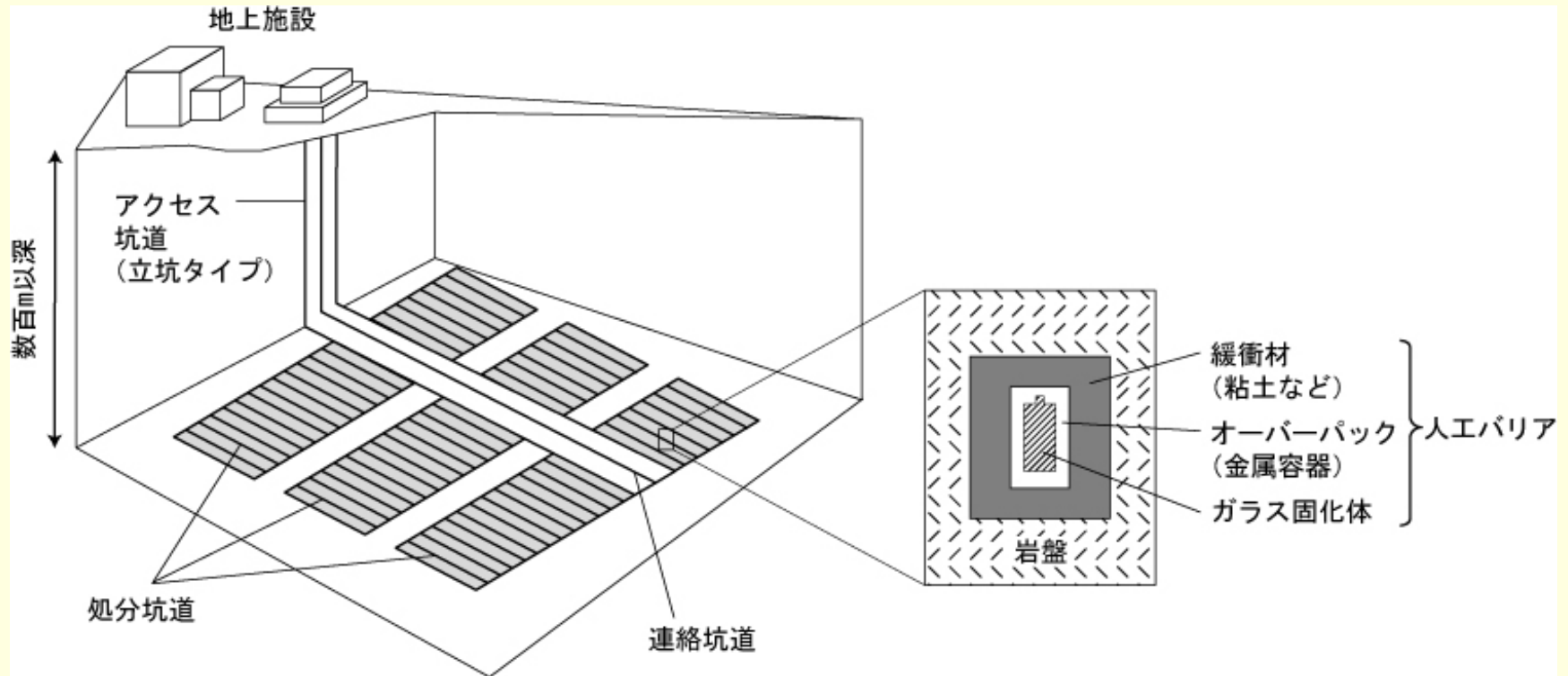


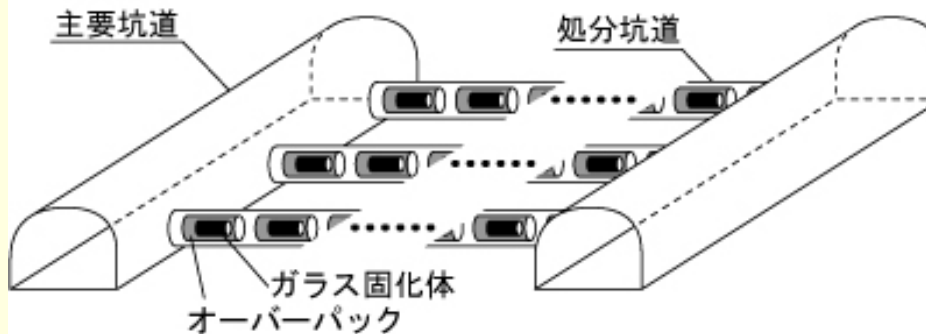
図1 地層処分場の概念図（‘第2次取りまとめ’ (2) から）。

地上施設と地下処分場はアクセス坑道で結ばれる。ガラス固化体はオーバーパックに格納して、処分坑道区域に埋められる。オーバーパックの周囲に埋める緩衝材までを人工バリアと呼ぶ。

藤村陽ほか：高レベル放射性廃棄物の地層処分はできるかⅡ，科学，2001年3月号
http://geodispo.s24.xrea.com./katudo/lwanamiKagaku/kagaku2001_03.html

1処分地の縦横のトンネルに5tのオーバーパックとともに2万本以上を埋める

(a) 処分坑道に横置きにする場合



(b) 処分孔にたて置きにする場合

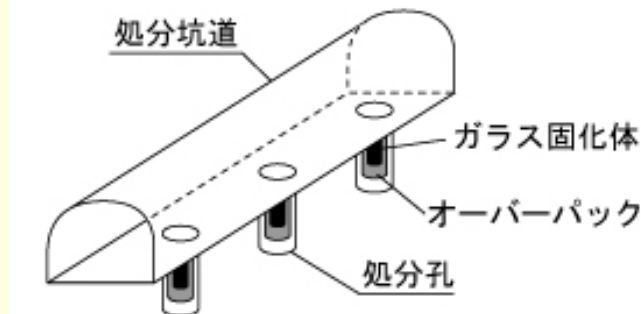


図2 ガラス固化体の定置の例（‘第2次取りまとめ’ (2)から）。

埋設方法や岩盤強度などに応じて、処分坑道間は10～13m程度、ガラス固化体間は3～6m程度の間隔をおくことで、坑道の健全性を保ちガラス固化体の発熱の影響を避けられるとしている。

藤村陽ほか：高レベル放射性廃棄物の地層処分はできるか I，科学，2000年12月号
http://geodispo.s24.xrea.com./katudo/lwanamiKagaku/kagaku2000_12.html

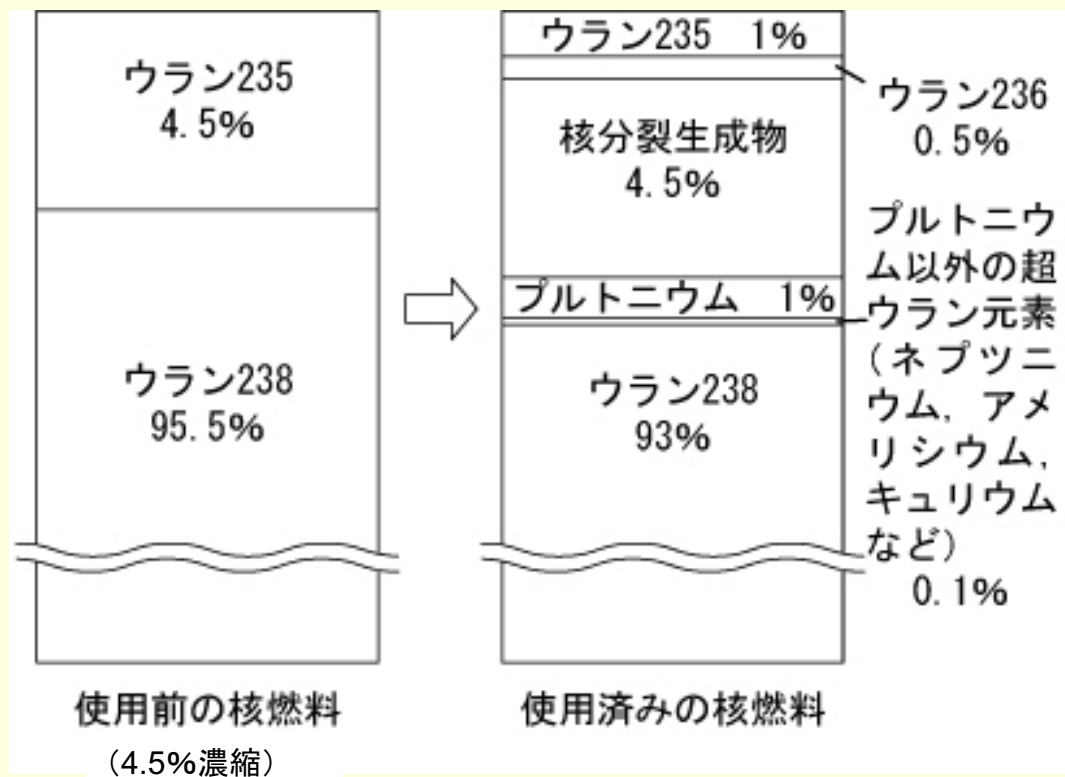


図1 使用前と使用済みの核燃料の比較.

天然ウランには,核分裂しやすいウラン235が0.72%,核分裂しにくいウラン238が99.27%含まれている.このままでは核分裂連鎖反応がおこりにくいので,一般の原子炉ではウラン235を3~5%に高めた低濃縮ウランを燃料に用いる.ウラン235が1%程度まで減ると使用済み燃料とする.図は,濃縮度が4.5%で燃焼度がウラン燃料1トン当たり4万5000MW日の場合.プルトニウムはウラン238が中性子を吸収して生成し,それが核分裂して発電にも寄与している.ウラン236も原子炉中で生成する(原子力バックエンド対策専門部会報告書 (7)をもとに作成).

楽観的なケースばかりが強調され、 探究的態度が欠落

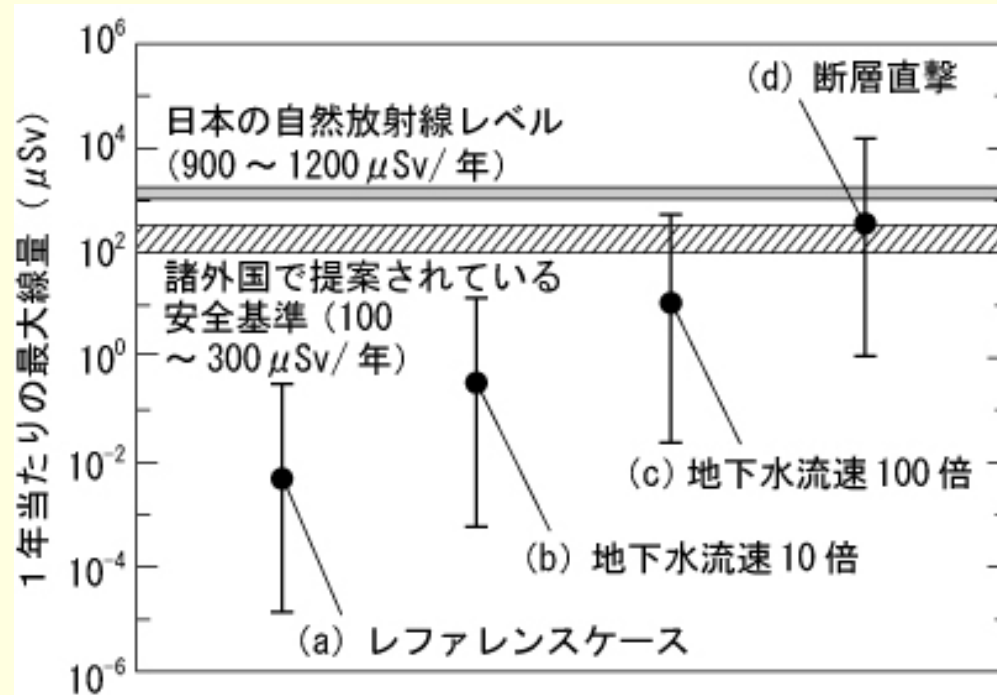


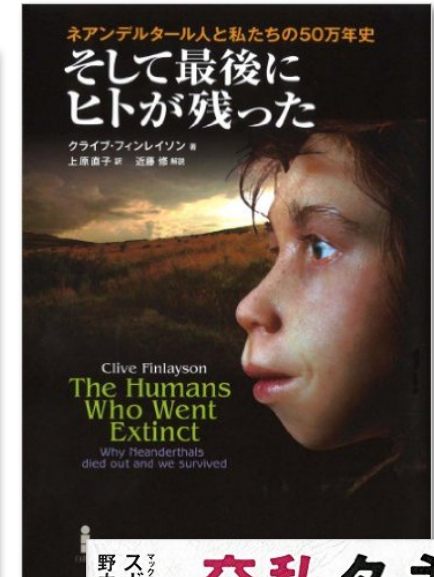
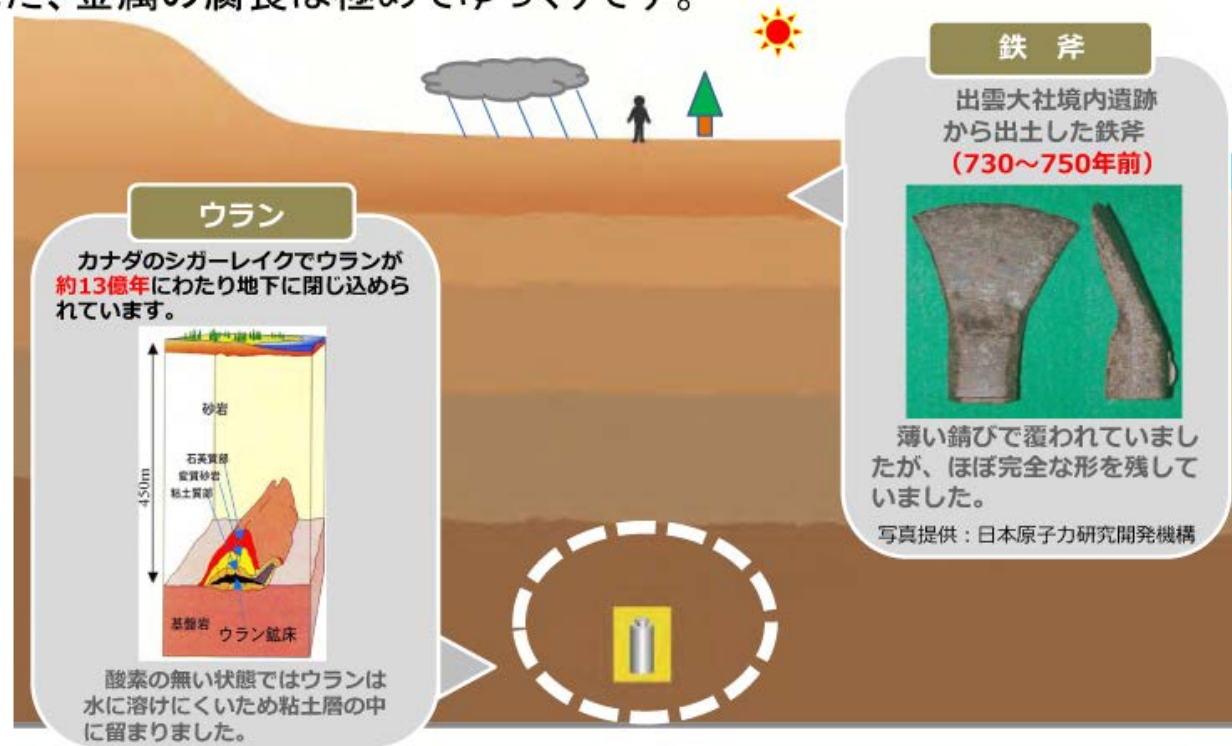
図4 さまざまな条件による最大被曝線量の比較。

‘第2次取りまとめ’のレファレンスケースと、いくつかの最悪の場合を示す。中心値(●)はレファレンスケースの生活様式の被曝経路に対応し、縦線は、生活様式や環境の違いに応じた線量評価の幅。最大線量は、(a)ではセシウム135、(b)(c)(d)ではトリウム229による。

たまたま残ったものからは、失われたものはわからない。そもそも10万年って？

地下深部の特徴：酸素が少なく、ものが変化しにくい

地下深部は酸素がほとんどないため、ものの変化は起こりにくいです。また、金属の腐食は極めてゆっくりです。



安定地塊のスウェーデンでも適地は 限られるなら、変動帯日本では？

(参考) マッピングの参考事例

- スウェーデンでは、1998～1999年に総合立地調査を実施

- 岩種、主要亀裂、鉱石・鉱山分布等を考慮してマップを作成

- 上記に加え、自然保護、輸送等の視点も勘案し、地域の適性を評価

- おそらく適格な基盤岩
- おそらく不適格な基盤岩
- 不適格な基盤岩



スウェーデン県域別総合立地調査の成果例
(出典: 環境影響報告書2011, SKB社)

「トイレなきマンション」解消の困難

- 2000年5月「特定放射性廃棄物の最終処分に関する法律」成立で地層処分事業化
- 2000年11月原子力発電環境整備機構(原環機構)設立
- 2002年12月公募開始(唯一の応募は2007年1月の高知県東洋町, 独断で応募した町長が同年4月の選挙で敗れ, 新町長就任直後に応募取下げ)
- 2007年9月経済産業省は, 公募方式に加え, 政府が調査を申し入れる制度併用を決定
文献調査対象自治体への交付金年2.1億から10億円に増額。
概要調査対象自治体への交付金は年20億円(調査期間中
限度額70億円)に(精密調査対象, 最終処分地にはさらに交
付金継続)。
- フィンランド, スウェーデンと日本とのちがい(日本では, 50基
超の原発からの大量のガラス固化体を1箇所埋める, 核燃
料サイクル堅持, 変動帯)も無視できない

学術会議の検討結果から

- 地下水の通路である割れ目の少ない岩盤を処分場候補地とするのが望ましいが、それには、岩盤内の割れ目を探す技術—とくに非破壊の物理探査—の高度化と適用限界の明示が必要…地質履歴から割れ目の少ない岩盤を探す論理立てが必要…そのために調査と評価…
- 「総量管理」と「暫定保管」及び「科学の限界の自覚」という考えの下に、社会的合意を図りつつ高レベル放射性廃棄物問題に対処するためには、まず原子力発電行政に対する国民の信頼を回復することが重要

いずれも学術会議(2015)提言p.13から

（社説）もんじゅ後継 無責任さにあきれる

2016年12月1日05時00分

利害関係者だけが集まり、密室で不合理な政策を決めていく。手痛い失敗の検証や反省がないまま、成否が見通せない巨額のプロジェクトに突き進む。

政府はきのう、非公開の会議で、高速増殖原型炉「もんじゅ」（福井県敦賀市）の後継となる高速実証炉の開発を国内で進める方針を示した。

無責任さに驚き、あきれる。

1兆円超を投じたもんじゅは、1994年の初臨界からの20年余で、わずか220日ほどしか動いていない。扱いの難しい冷却用ナトリウムを漏らすなど、事故を起こしたからだ。

開発の最初の段階にあたる実験炉「常陽」の稼働実績はもんじゅの十数倍、約3千日だ。技術開発は、段階が進むとまさに段違いに難しくなる。

政府が目指す高速炉は、もんじゅのように炉内で燃料のプルトニウムを増やしていく増殖機能はないが、原理は同じだ。原型炉さえ満足に動かせなかったのに、安上がりで安全な実証炉を造れるのか。国際協力を踏まえるというが、頼りにする仏「ASTRID（アストリッド）」計画は、仏政府が建設の是非を数年後に決めるという段階だ。

そもそも、議論の場がおかしい。きのうの会議の参加者は経済産業相や文部科学相、電力会社でつくる電気事業連合会、原子炉メーカーの三菱重工業、もんじゅの運営主体である日本原子力研究開発機構と、もんじゅの関係者ばかり。原子力機構の2人は三菱重工業と文科省の出身で、役所と企業の思惑だけで話を進めていると言っている。

なぜ、ここまで高速炉開発にこだわるのか。

原発で生じた使用済み核燃料を再処理し、取り出したプルトニウムを燃料に使う。その核燃料サイクルの中核に位置づけてきたのがもんじゅだ。もんじゅ廃炉の方向性は示したものの、後釜を欠けばサイクルが崩壊し原発推進にも影響しかねない。そんな危機感があるのだろう。

だが日本は既にプルトニウムを48トン、通常原発で6千発分を保有する。高速炉の実用化に具体的な展望がない今、経済性も欠くサイクルへのこだわりは国際的な疑念を招くだけだ。

原子力行政については、一度決めた政策に固執する硬直性への批判が根強い。それでも福島第一原発事故後は、利害や経緯にとらわれない議論の大切さが広く認識されるようになった。

政府はいま、過去の教訓に目をつぶり、お手盛りの会議で、疑問だらけの高速炉開発に税金をつぎ込もうとしている。こんな愚行は許されない。

【経済】

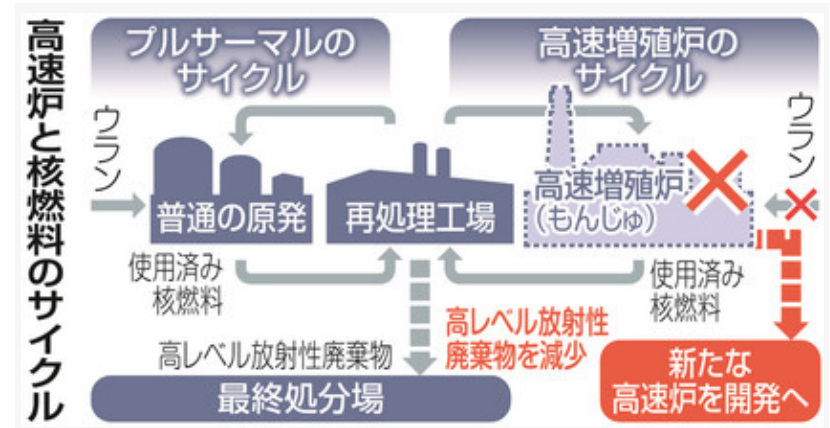
核燃サイクル延命 新高速炉の開発具体化 政府骨子案 工程表年明け着手

2016年11月30日 13時58分

政府は三十日、廃炉が濃厚な高速増殖原型炉「もんじゅ」（福井県）に代わる高速炉開発について話し合う「高速炉開発会議」の三回目の会合を開き、新たな高速炉の開発計画を年明けから具体化させる骨子を固めた。高速炉の開発方針を前進させて核燃料サイクルを延命させる。さらに、もんじゅと同じデータは高速炉でも得られるとして、もんじゅの再稼働は見送る方向を打ち出した。

政府は、原発の使用済み核燃料から出る放射性廃棄物（核のごみ）を減らせるとされる高速炉は必要だと強調。骨子では、もんじゅに代わる高速炉の具体的な開発計画を来年から作り始め、二〇一八年をめどに工程表を策定。今後十年ほどかけて、実用できる高速炉の設計思想と開発体制を固めるという。

世耕弘成経済産業相は会議の冒頭に「技術をどのように獲得していくのか、もんじゅ以外の方策も含め幅広く検討したい」と述べ、高速炉の開発に意欲を示した。



「高速炉は構造が複雑で技術的に難しく、もんじゅも出力28万kwで建設に6000億円かかっているから、100万kwで3000億円といわれる一般的な原発よりも7倍ぐらい高い」吉岡斉(科学技術史)

原子力施設の安全確保のための 「深層防護」の5層構造(IAEA)

階層	目的	基本的手法
第1層	異常運転・故障の予防	安全重視の設計と、高品質の建設・運転
第2層	異常運転制御, 故障の検知	設備の監視・制御・保護のシステム
第3層	想定されている設計基準事故の制御	工学的安全設備と事故対応手順
第4層	プラントの過酷状態の制御(事故進展防止と、過酷事故の影響緩和を含む)	原発施設内での補完的手段とアクシデントマネジメント
第5層	放射性物質の大規模放出にともなう放射線影響の緩和	原発施設外での緊急時対応

石橋克彦: 欠陥「規制基準」が第2の原発震災を招く, 世界, 6月号(2014)

「福島原発震災までの日本の安全規制は第三層までしか考えておらず, 第四層は事業者の自主的取り組みとされ実質的には何もおこなわれていなかった」(石橋)

第4層第5層の代わりに, 低線量被曝安全論(原子力PA)を実施してきた。

20世紀末：原子力に国運をかける (わたしたちの)日本

→しかし、肝心なことがまだ知られていない？

- ・政府のエネルギー研究開発予算総額3755億円のうち3386億円(9割)が原子力エネルギー(原子力発電, 核燃料サイクル, 核融合など)に(1997年)。
- ・在来型原子力開発への政府投資世界第1位が日本
フランスの4.7倍, アメリカの20倍, ドイツ, イタリアの57倍。
- ・核燃料サイクルへの大規模投資
高速増殖炉開発への政府投資は, 日本が2億7000万ドル(約300億円)で, フランスの25倍, そのほかの国はすでに撤退。

原子力開発の限界・国策の現実

- 「技術的未成熟」の拡大

→そのために**技術学習曲線が負**，すなわち，研究をすればするほど技術的課題が浮かび上がり，安全のためのコストが増加していく

→これが**開発研究が「隠蔽主義」**になる根本原因（そのほか軍事技術であること，経済帝国主義競争化の国策巨大開発も隠蔽原因）

→放射線健康影響は未解明かつ過小評価のため，**被曝による人権侵害**が大規模化

→「裏リスクコミュニケーション」という**民主主義の悪用**

「民主主義」と「正常性バイアス」を悪用した「裏リスクコミュニケーション」

- 表では「絶対安全」、裏では総括原価方式・国策のもと、地方（過疎）自治体に補助金、交付金などの原発マネーによって多数派形成

正常性バイアス：目の前にある危険を平常の範囲内と誤認識すること

- 人間の誰もが多かれ少なかれ備えている
- 津波警報がでても避難が遅れる
- 原発近傍の住民，原子力技術者は，原発に対するリスク認知を下げる（社会心理学の知見）

原発リスクコミュニケーション失敗 (誤解, 混乱, 信頼崩壊) 二大原因

- リスクコミュニケーションの原則からの逸脱
ケネディ大統領一般教書演説(1962)
消費者の四つの権利
 - 安全を求める権利 ▪ 選択する権利
 - 知る権利 ▪ 意見を聞いてもらう権利
- 「裏リスクコミュニケーション」再来
 - リスクを正面からとりあげず, 「(絶対)安全」と「交付金・補助金等」による多数派形成
 - 今回もそれが繰り返された(放射線「安全論」「楽観論」)
 - 科学の誤用による人権侵害

科学技術的過小評価の実例

- 地震リスク: 活断層を避けただけでは...
- 地下水・熱水の未知
- 「100mSv以下では健康影響はない」というまちがった政策宣伝。
低線量被曝健康影響が未知なのは、そもそも病気になるしくみがわかっていないから

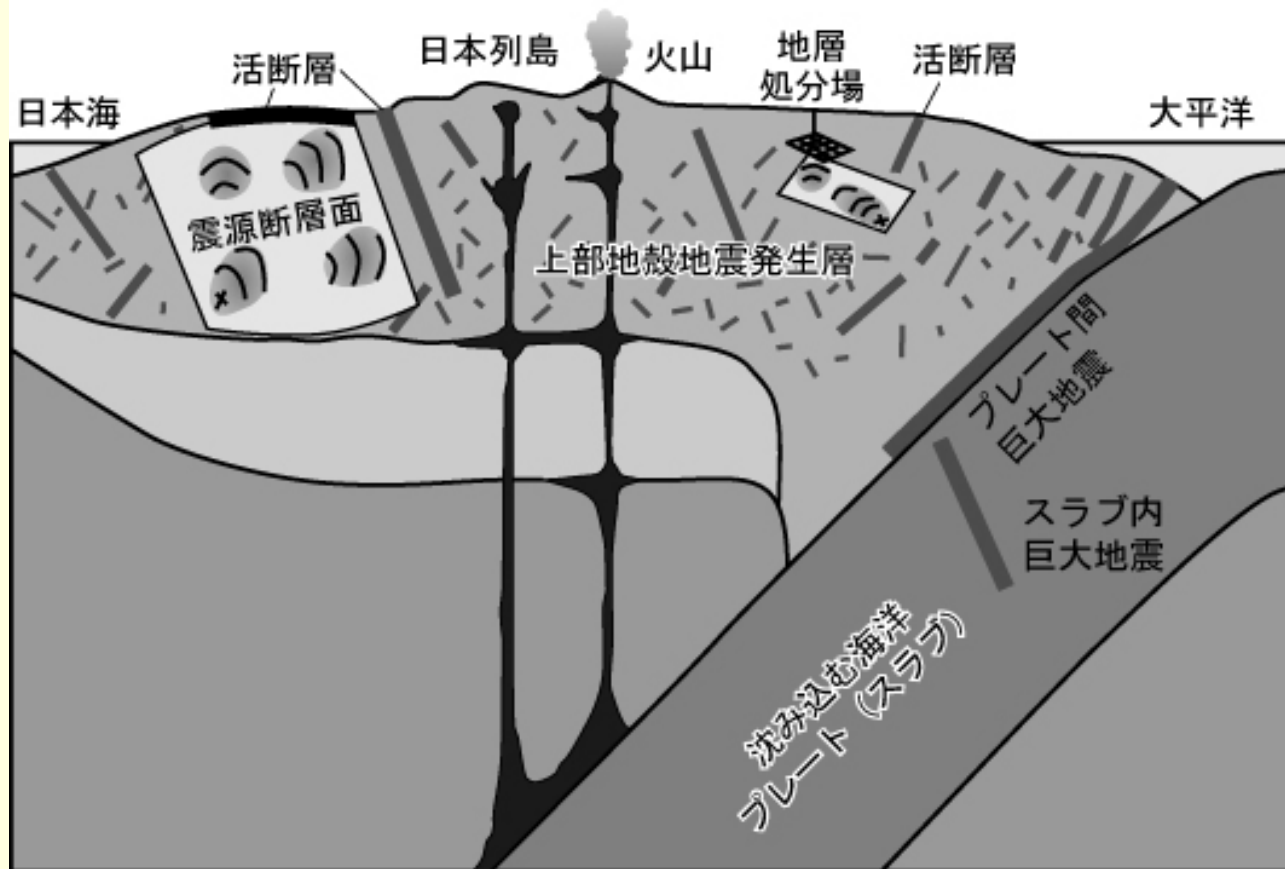


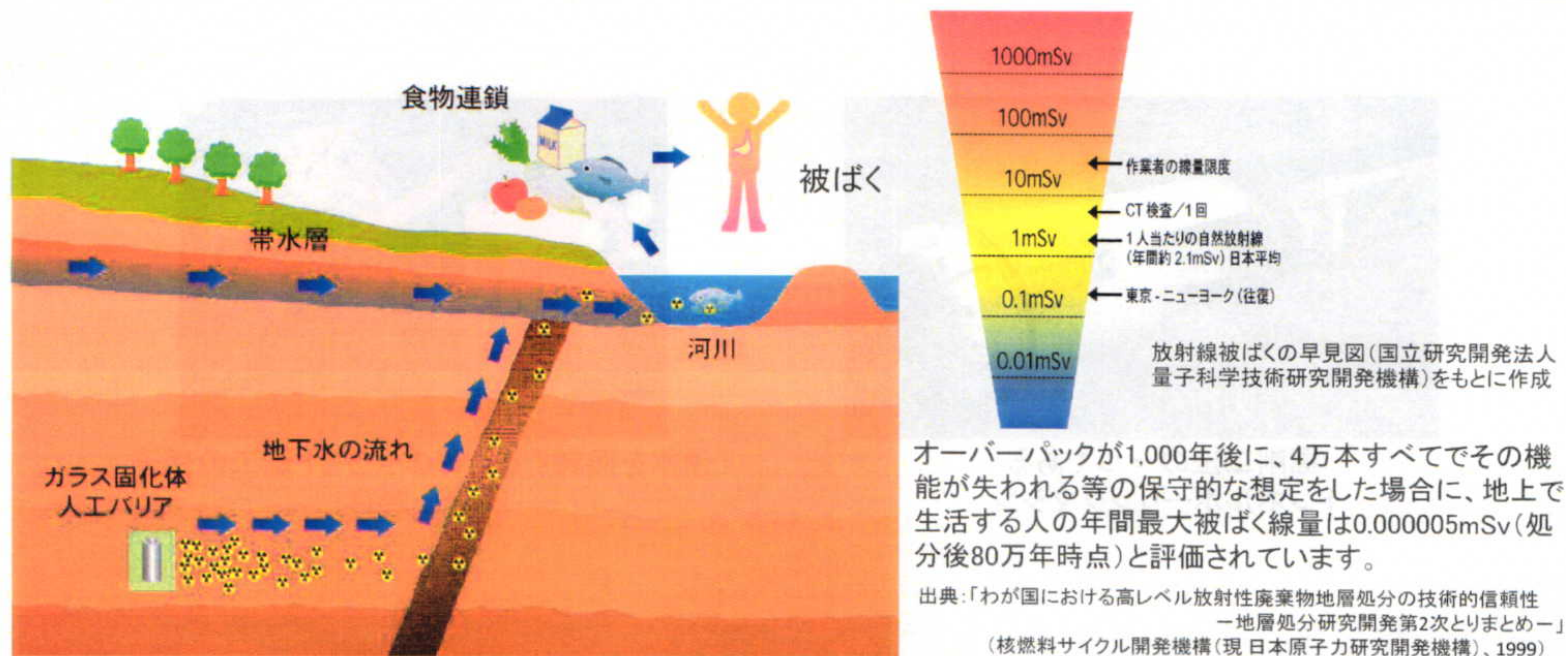
図4 日本列島の大地震の発生源の模式図.

上部地殻地震発生層には大小無数の断層が存在していて、基本的にはどれもが、単独あるいは連結して地震の源(震源断層面)になりうる(プレート間のスラブ内にも多くの大小の割れ目や断層がある).活断層として地表付近で認識できるのは、それらの一部にすぎない.活断層とはまったく無関係のプレート間巨大地震とスラブ内巨大地震も、地層処分場に影響を与える可能性がある.

広域地下水の研究は弱い 制御不能な自然放射線と人工的な 追加被曝の比較は無意味

方策(3): 安全性を評価・確認します

- 放射性物質が人間の生活環境に運ばれる可能性に対しては、必要な対策を講じた上で、慎重に評価します。処分地選定調査では地下深部の地質環境特性から生活環境までの様々な情報と、人工バリア等の工学的対応を検討しつつ、将来の地上で生活する人の被ばくの程度を慎重に評価し、地表に到達するまでに放射能が十分減衰していることを確認します。



沈み込むプレートが海水を火山の下まで運ぶ

2013年5月28日

川本竜彦 理学研究科附属地球熱学研究施設助教、芳川雅子 同教務補佐員、熊谷仁孝 理学研究科大学院生（現在、北村国際特許事務所弁理士）、小林哲夫 鹿児島大学理工学研究科教授、奥野充 福岡大学理学部地球圏科学科教授、ハナ・ミラプエノ フィリピン地震火山研究所研究員（現在、ニュージーランド・クライストチャーチ市議会職員）らの研究グループは、沈み込むプレートから海水がマントルに加わる現象を発見し、新しい仮説を提案しました。

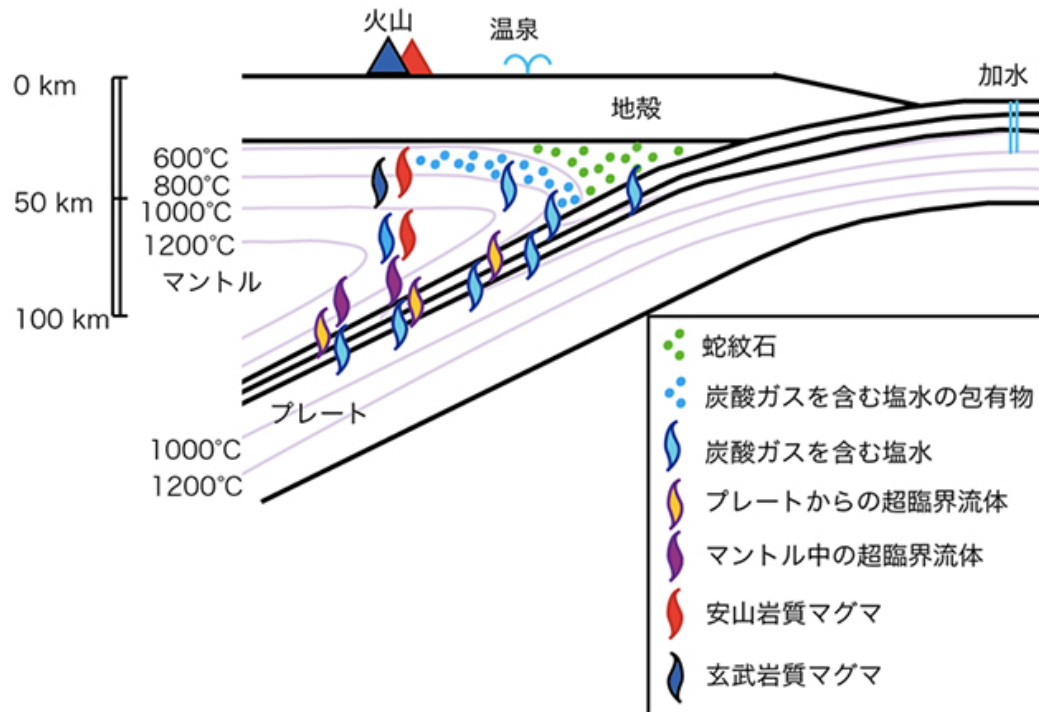
本研究成果は、5月28日（米国東部時間）の米国科学アカデミー紀要の電子版で公開されました。



川本助教

概要

日本列島の下には、日本海溝から太平洋プレートが、南海トラフからはフィリピン海プレートが沈み込んでいます。今回の報告では、天然のマントルの岩石を観察し、沈み込むプレートがマントルに海水を運んでいると提案しました（図）。



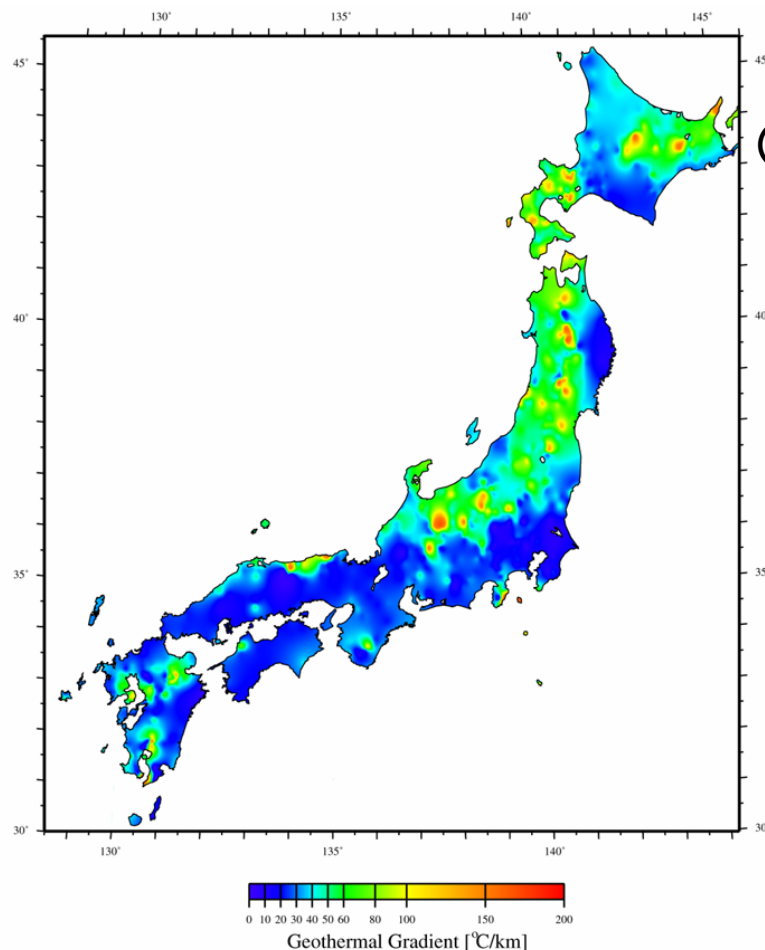
図：提案する仮説

海洋プレートは海溝付近で海水を取り込み、沈み込むとマントルに海水を出す。さらに深く沈み込むと海洋プレートからマントルに加わる流体は超臨界流体となるが、その塩濃度はまだ推定されていない。

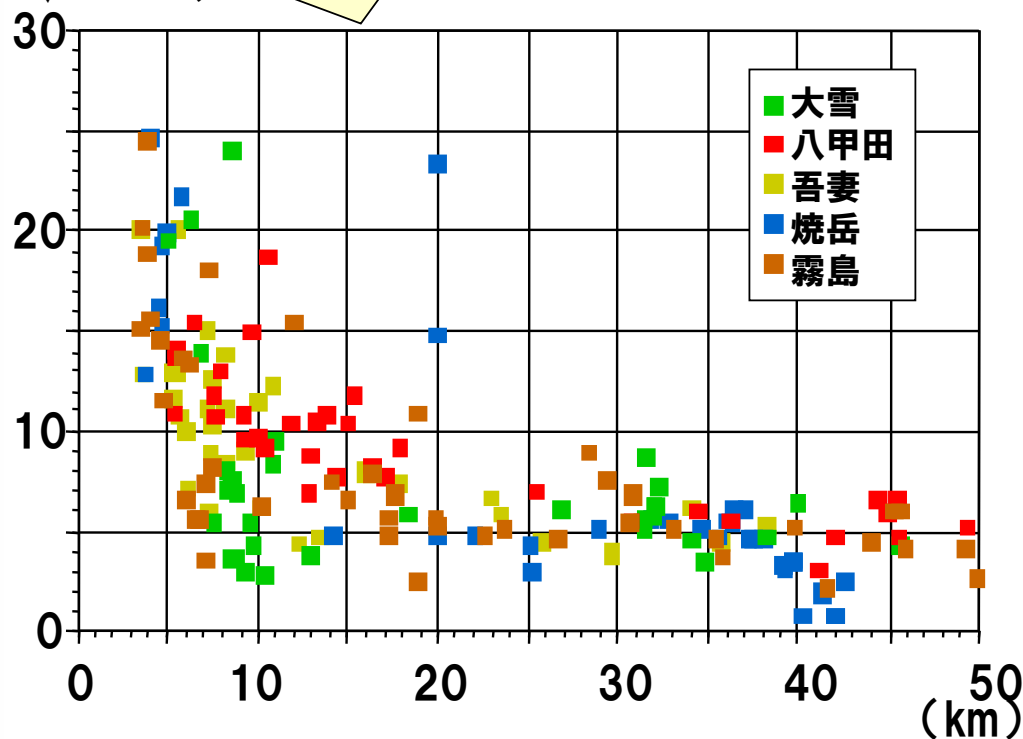
- 高温多湿で涵養・流出とも多いが、広域地下水研究は不在
- 海洋プレート，マントル，地殻を通した海水をふくむ熱水循環の存在
- 有馬など地熱火山地帯ではない温泉
- 限られた観察からの仮説

火山活動が地質環境に及ぼす影響(地熱)

火山活動に伴う熱的な影響は、個々の火山によって異なるものの概ね20～30kmの範囲に限定される。



($^{\circ}\text{C}/100\text{m}$)



日本列島地温勾配図と火山周辺の坑井の地温勾配(梅田ほか, 1999)

高温異常の背景となるバックグラウンドは東日本で3～5 $^{\circ}\text{C}/100\text{m}$, 西日本で2 $^{\circ}\text{C}/100\text{m}$ 程度である。また、火山周辺の地温勾配値は一般的に高いが、噴出中心から離れるにしたがって低減。

震災前後で生じた権利侵害

- 多くの病気の原因は一つではなく、鼻血症状の原因もいろいろ。しかし、放射線影響がわずかで、ほかの要因がほとんどを占めていたとしても、原発震災がなければ発症しない状況であれば、放射線影響が原因のはず。
- 受動喫煙や野菜不足は避けようというのがこの10年くらいの日本の政策。新幹線も全席禁煙になった。大学生協でコンビニでも、野菜ジュース、野菜入りジュースは定番に...。ところが、だから「問題ない、がまんせよ」...

原子力安全委員会・政府が低線量健康影響を否定しては認めていく過程

- 4月10日 久住静代委員，臨時会議で「(1年間で) 100mSv以下では心配ない」
- 4月11日 安全委，記者ブリーフィングで「100mSv/年以下では健康への影響はない」との文書配付
- 4月19日 文科省，児童・生徒の被曝量を年間20mSvまでとする暫定基準発表
- 4月29日 小佐古敏荘内閣官房参与涙の辞任会見「年間20mSv近い被ばくをする人は原子力発電所の放射線業務従事者でも極めて少ない。この数値を乳児，幼児，小学生に求めることは学問上の見地からのみならず，私のヒューマニズムからしても受け入れがたい」
- 5月6日 安全委事務局，統合会見で年間100mSv以下でも健康への影響があることを認める
- 5月16日 安全委事務局，久住委員が4月10日の発言を訂正したことを統合会見で報告
- 5月20日 安全委事務局，文書「低線量放射線の健康影響」について公開
- 5月26日 日隅一雄氏の指摘を受け，安全委は同文書を訂正
- 5月27日 文科省，「学校で児童・生徒の受ける線量は年間1mSvをめざす」との方針発表
- 7月7日 枝野官房長官，国会で「100mSv未満では放射線ががんを引き起こす科学的な証拠はない」
- 7月27日 衆議院厚生労働委員会にて児玉龍彦教授発言「放射線の健康への影響について」
- 10月26日 安全委事務局，4月11日付文書の間違いを修正，「「100mSv以下では健康への影響はない」という記述は正しくありません。」と追記

日隅一雄・木野龍逸：検証 福島原発事故記者会見-東電・政府は何を隠したのか，岩波書店（2011）をもとに，林が加筆。

——— 影響“否定”発言

——— 健康影響を認める発言

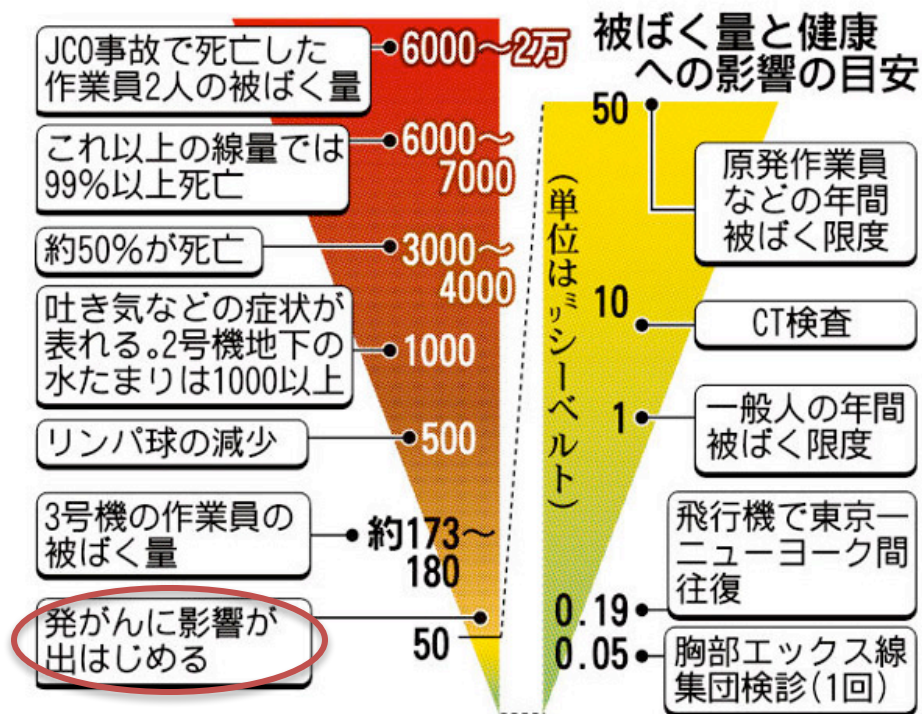
2011年3月23日毎日新聞朝刊



厚生労働省が設けている食品の暫定規制値

放射性物質の種類	規制値 (1kgあたりのベクレル値)
放射性ヨウ素	飲料水
	牛乳・乳製品
	野菜類(根菜、イモ類を除く)
	300
	2000

2011年3月28日毎日新聞朝刊

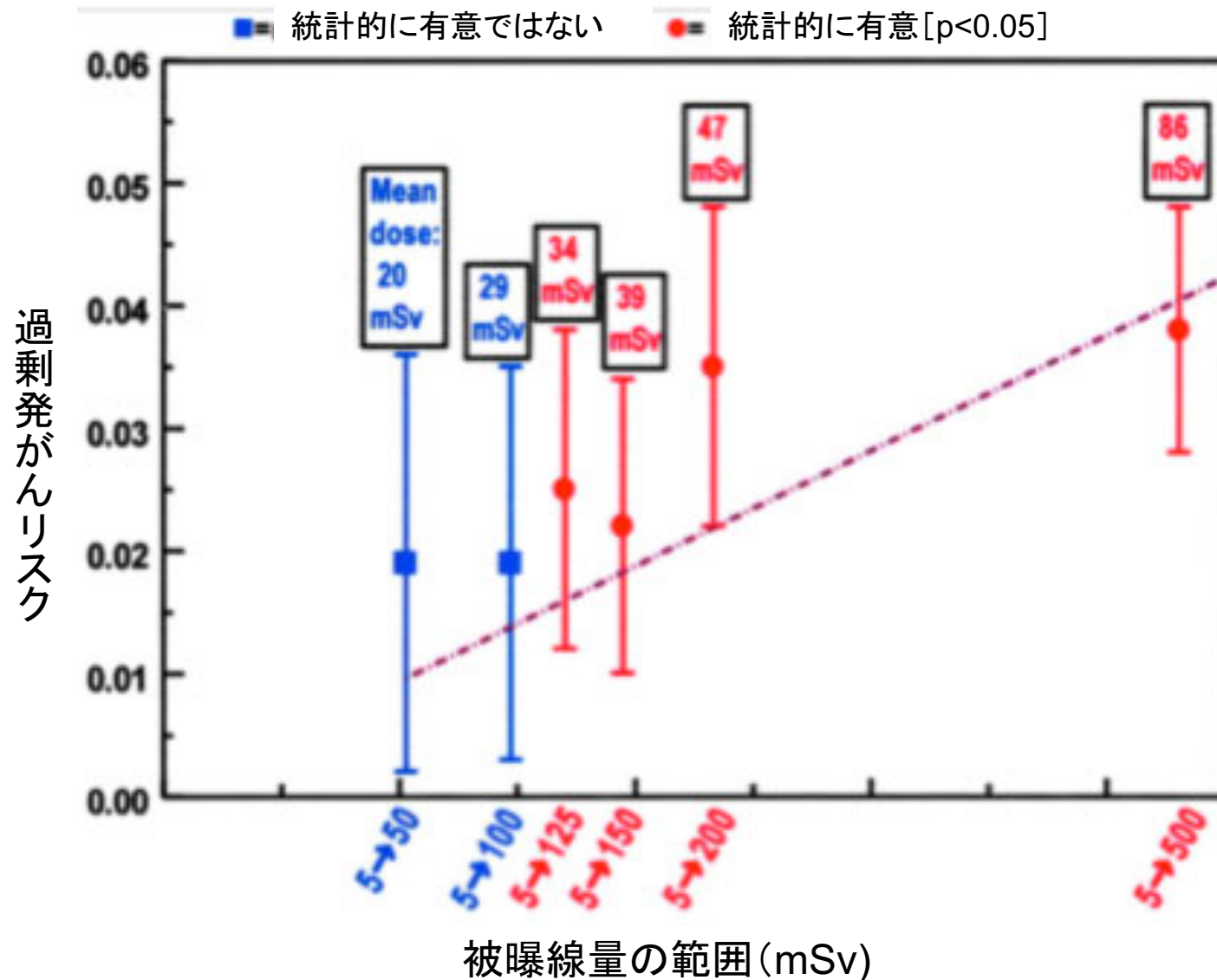


被ばく量と健康への影響の目安 (2011年3月28日付朝刊)

毎日新聞図説の変化。
3月23日版では急性症状によるリスク高まりを示唆だった。3月28日には、事実上の「閾値あり」モデルに変わっている。

ICRP(国際放射線防護委員会)は低線量健康影響に科学的根拠ありとみとめている

- 「がんの場合、約100mSv以下の線量において不確実性が存在するにしても、疫学研究及び実験的研究が放射線リスクの証拠を提供」ICRP Pub.103
- 「防護の目的から、がんの発生が100mSv以下で等価線量増大に伴い当該臓器で発生すると仮定するのが科学的にもっともらしい」ICRP Pub.103



David J. Brenner et al. : PNAS November 25, 2003 vol. 100 no. 24 13761-13766, 調麻佐志翻訳: 低線量被ばくによるがんリスク 私たちが確かにわかっていることは何かを評価する(一般社団法人サイエンス・メディア・センター <http://smc-japan.org/>)

しきい値あり(100mSv以下影響なし)を否定する多数の研究

最近得られた疫学的証拠の例

○文部科学省(2011) 前向きコホート調査 原子力施設20万人 累積被曝13.3mSv
→全がん4%増、肝がん13%増、肺がん8%

○Pearce他(2012),Lancet 後ろ向きコホート調査 医療被曝CT検査 イギリスの子ども(22歳未満約18万人) →51.13mGyで白血病3.18倍、60.42mGyで脳腫瘍2.82倍(有意)

○Eisenberg他(2011),CNAJ 後ろ向きコホート カナダの心筋梗塞患者82861名の血管造影・CT検査等 →10,20,30,40mSvごとに全がんが各3,6,9,12%増加(有意)

○Pijpe他(2012),BMJ 後ろ向きコホート 胸部X線写真・マンモグラフィー・CT検査 BRCA変異を持つ女性1993名 →14mSvで乳がん1.90倍に増加、22~43mSvで3.84倍(有意)

○Mathews他(2013) コホート研究 医療被曝CT検査 オーストラリアの小児68万人
→4.5mSv毎に小児ガンが20%増加

安全論バイアスのかかったLSSの枠組でさえしきい値ゼロを主張 (LSS第14報)

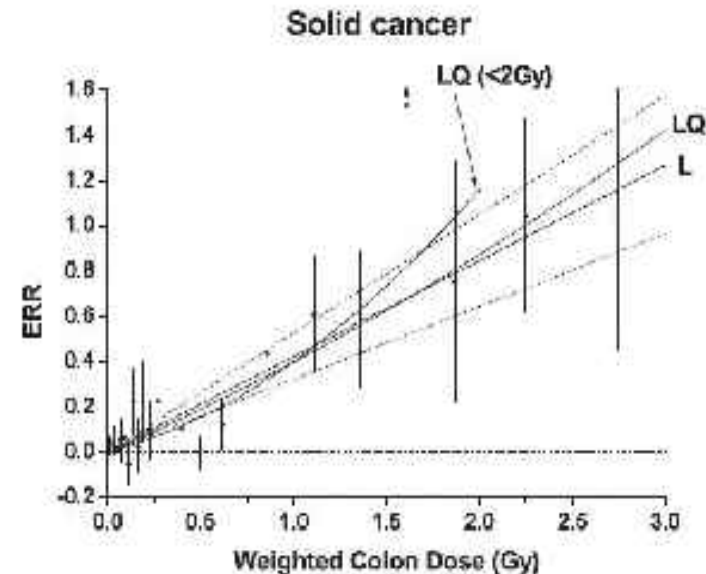


FIG. 4. Excess relative risk (ERR) for all solid cancer in relation to radiation exposure. The black circles represent ERR and 95% CI for the dose categories, together with trend estimates based on linear (L) with 95% CI (dotted lines) and linear-quadratic (LQ) models using the full dose range, and LQ model for the data restricted to dose <2 Gy.

★脱毛発症率から内部被曝線量を推定し
LSSの欠陥を補正した沢田昭二氏の研究
によれば2.5km地点でも1000mSvを超える

ICRP1990年勧告への反省

- 佐々木康人(元ICRP日本委員)による「ICRP新勧告作成の経緯と主要な論点」から(Isotope News 2007年9月号から4回連載)
- なぜ1990年勧告改訂作業が始動したのか
- Roger CLARKE委員長(当時)の呼びかけ(2000年4月広島市)を契機に新勧告案作成作業が始まった。

ICRP「良識派」主張のポイント

- “**証拠の重み**”は、直線閾値なし(LNT)仮説に傾いていると判断。
- 功利主義的倫理観(費用対便益論, ALARAの原則)への反省
- 個人の権利を重視した**義務論的倫理観への転換、個人の防護の重視**
- 単一線源からの一般公衆の最大線量として年間0.3mSv
- **無視できるレベルは年間10～20μSv**(過剰致死がんリスク100万人に1人)。
Cf.化学物質規制における実質安全量(VSD)が同程度(10万分の1から100万分の1)

日本(ABCC→放影研)

- 晩発影響の「実証」(しかし, 非がん影響についてはICRP勧告に反映されず)。その後, 二世(両親被曝の白血病)遺伝的影響も有意に。
- 小児甲状腺がん増には反対(長瀧重信ら)

放射線影響研究所による広島・長崎被爆者追跡研究まとめ

表1 原爆放射線の晩発影響(後障害)

A) 被爆者

1) 悪性腫瘍

白血病: 急性及び慢性の骨髄性白血病と急性リンパ球性白血病(慢性リンパ性及び成人T細胞白血病を除く)

固形癌: 癌全体, 膀胱癌, 乳癌, 肺癌, 甲状腺癌, 結腸癌, 卵巣癌, 胃癌, 肝癌, 皮膚癌

2) 癌以外の疾患

寿命調査集団: 心疾患, 脳卒中, 呼吸器疾患

成人健康調査集団: 良性腫瘍(甲状腺, 副甲状腺, 唾液腺及び子宮) 甲状腺疾患, 慢性肝疾患, 白内障及び高血圧

B) 胎内被爆者集団

小頭症, 成長発達の遅延, 学業成績及び知能指数の低下

C) 被爆者の子供の集団

明らかな放射線の影響は認められていない

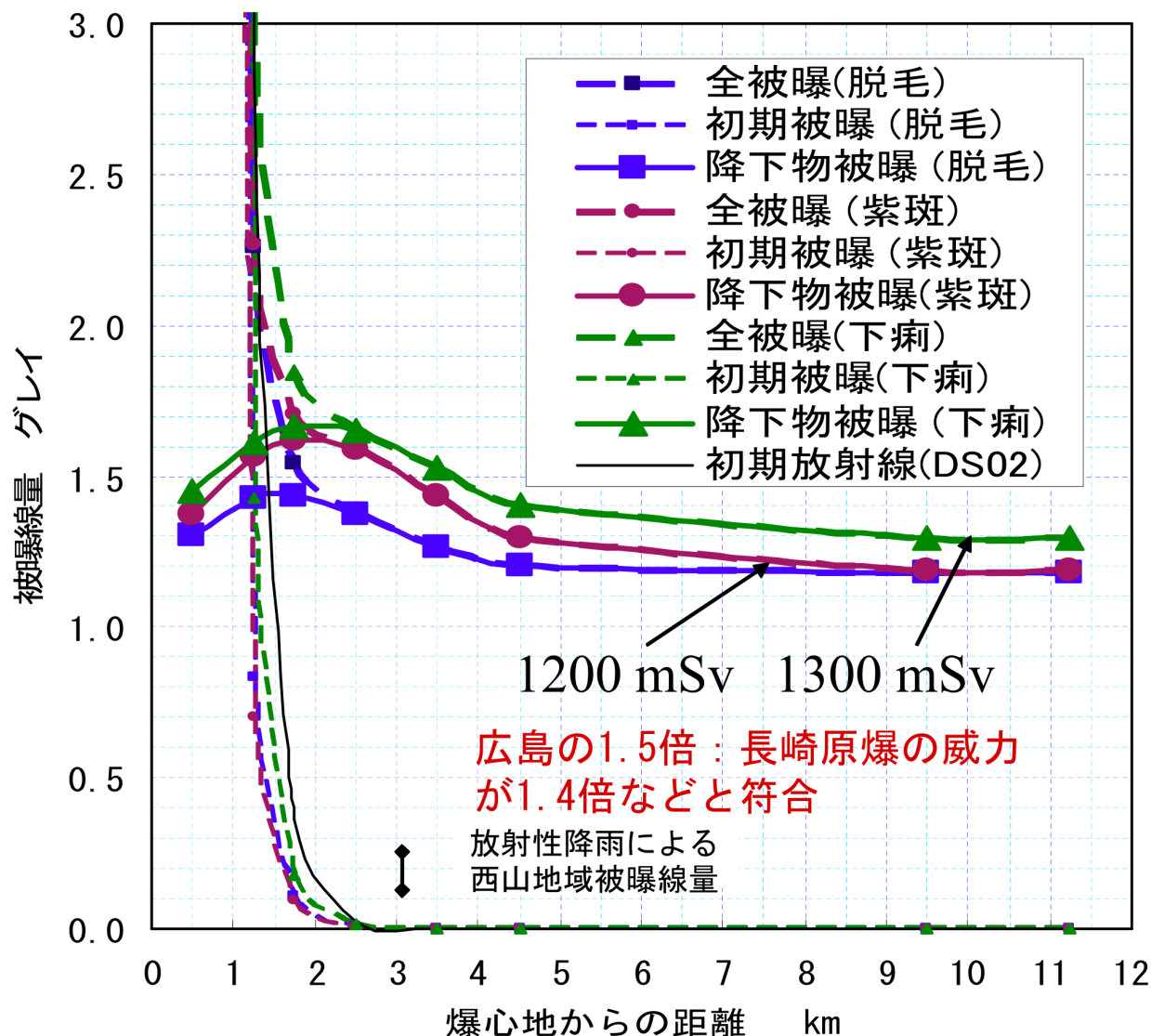
*要覧中の文章を表にした

非がん
影響で
あり

長崎原爆の放射性降下物

爆心地から
4 km まで
は広島とほとんど同じで
5 km を超えても小さくならない
調査が行われた12 kmまで
ほぼ一定

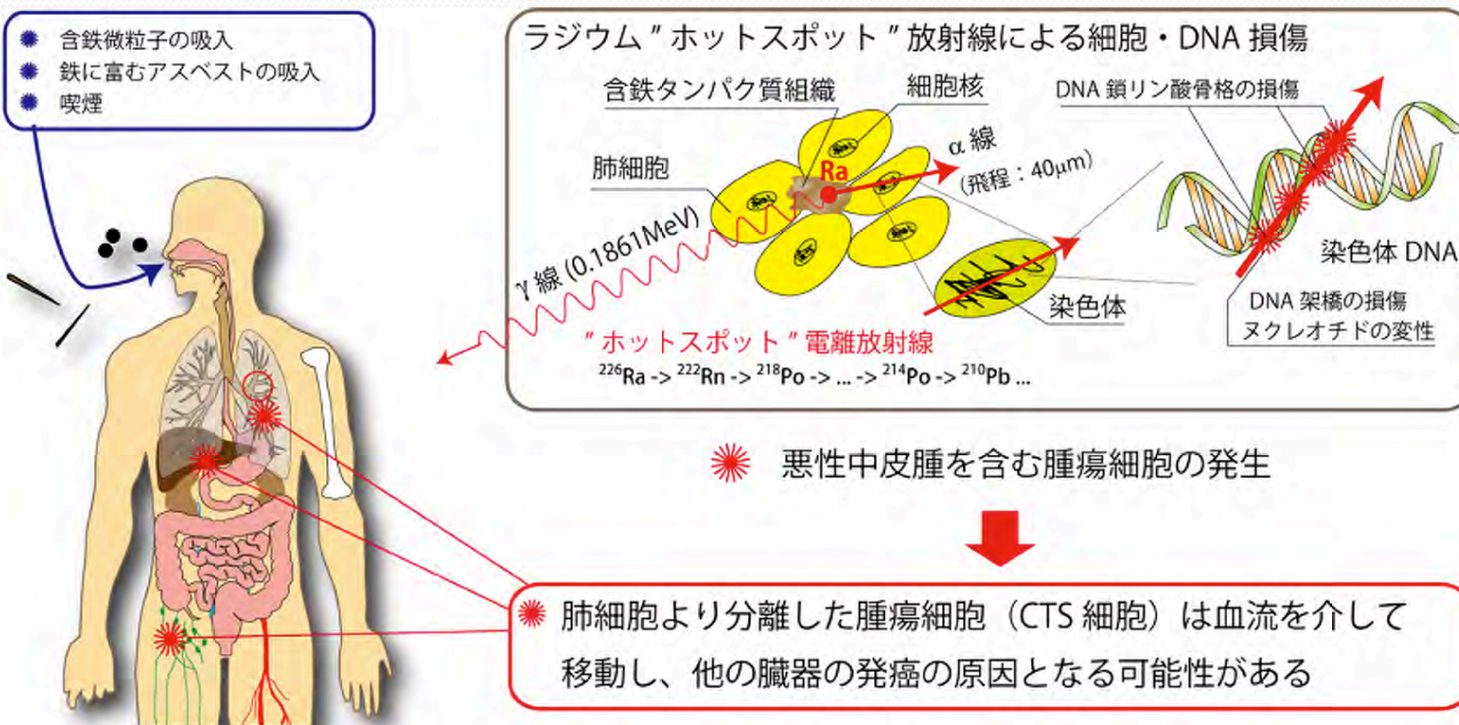
長崎原爆による被曝



広島の1.5倍：長崎原爆の威力
が1.4倍などと符合

放射性降雨による
西山地域被曝線量

ホットスポット放射線による癌(がん)発生メカニズムと、 他臓器発がんのきっかけ



癌発生メカニズムの物質科学的理解から、
新たな診断・創薬・治療の開発・実用化へ



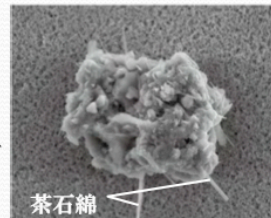
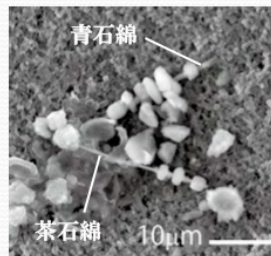
鉱物学的観察結果(悪性中皮腫患者)

- ✓ アスベスト小体を構成するアスベスト繊維は鉄分の多い角閃石(青石綿と茶石綿)
- ✓ クリソタイル(白石綿:鉄分の少ない蛇紋石)は含まれない
- ✓ 繊維を伴わない含鉄タンパク質小体(フェリチン)の量は喫煙者に多い

これまでの疫学的観察によれば

- ✓ 鉄を含まないアスベストは含鉄タンパク質を伴わない
- ✓ クリソタイル鉱山の鉱夫が吸引したアスベスト繊維はタンパク質を伴っていない
- ✓ 継続的な喫煙は肺中に過剰鉄を供給する
- ✓ 鉄鉱山やウラン鉱山の鉱夫の肺にタンパク小体が認められる

鉄に富む物質によって肺内で含鉄タンパク質小体



肺内の含鉄タンパク小体に蓄積されるラジウムと微量元素

ホットスポット肺内放射線被曝と悪性中皮腫・その他の癌(がん)の成因

Accumulation of radium in ferruginous protein bodies formed in lung tissue: association of resulting radiation hotspots with malignant mesothelioma and other malignancies

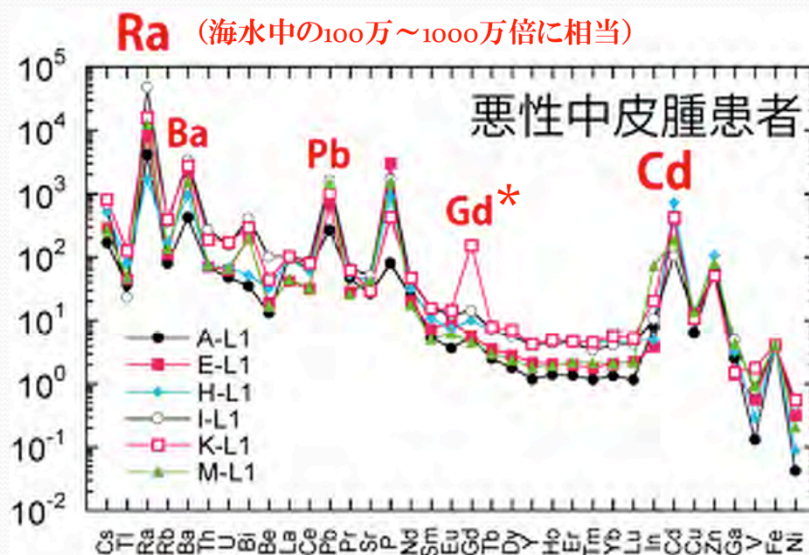
By E. Nakamura, A. Makishima, K. Hagino and K. Okabe
(Proceedings of the Japan Academy, Ser. B, No.7, 2009年7月28日公表)

岡山大学地球物質科学研究センター 中村 栄三

文科省記者クラブ 2009/07/27



悪性中皮腫患者から分離された含鉄タンパク質小体の元素パターン (始原的マントルと、鉄27%で規格化)



- ラジウムを始め、バリウム、鉛、カドミウムの顕著な濃集
- Gd-DTPAを用いたMRI検査に起因するガドリニウム(Gd*)の濃集

病気の原因は、わかっているようでいて、わかっていない。アスベスト発がんは、放射線被曝によると示唆する医学者だけではできない地球化学による希少な研究。ラジウムホットパーティクルの形成。平均的被曝のICRPモデルでは評価不能。といっても濃度でみたら、0.001~0.0001ppmの極微量。しかし、1粒あたり、例えば10万個のラジウム原子をもつタンパク質小体は何十万。

自動車事故との比較論の欠陥

- 自動車事故を甘受しているのだから、原発も甘受すべきというのはまちがい
- 確かに年約1万人（日本国内）の犠牲者（延命を含む治療技術の高度化によって1万人を割っているが、事故そのものは減っていない）
- 行政罰・刑事罰・賠償があって運転がされているが、原発事故は公然「轢き逃げ」
- より安全なクルマの開発と選択（リスクコミュニケーションが機能している）：化学物質一般も同様だが、原発は？

リスクコミュニケーションの原則 (確認したい)

- リスクコミュニケーションとは、リスクについて関係者間で情報や意見を交換し、その問題についての理解を深めたり、お互いによりよい決定ができるように合意を目指したりするコミュニケーション
応用心理学事典，丸善(2007)
- 消費者の四つの権利：ケネディ教書(1962)
 - 安全を求める権利
 - 選択する権利
 - 知らされる権利(知る権利)
 - 意見を聞いてもらう権利

「暴動」が生じないのはなぜ？

- 強制避難者に対する1人月10万円の賠償
→ 定期収入＋賠償金（6人家族なら月60万）
→ 但し「帰還」後の賠償打ち切りが迫る
- デフレ下で減反が進む米作
→ 兼業農家は自家保有米と縁故米を減らし、販売量を増やす（福島米ブレンド米に好適）。
- 公共事業としての中通り除染事業
→ 大玉村では年間予算に匹敵
- 多数者の一方、自主避難者らは、少数者に置かれたまま、声もあげにくい。



ゼオライト散布作業(2012年3月福島県大玉村で撮影)。
セシウムを吸着させて田んぼに留め、イネへの移行を防ぐ効果をねらった政府施策(“除染”との呼称が批判をうんだ。線量計の値は $1\mu\text{Sv/h}$ 前後)。農協が請け負い、地元農家が雇われて作業をする(作業者は鈴木博之さん)。

公正中立な科学とは？

「人権というのはもともと、強者から弱者を守るための概念であった。したがって、医学も技術も全ての学問が弱者の立場に立つことを要請されているのだ。たとえば、医学は中立で、いっぽうの側に立つものではないという意見も根強くあるが、...病者の側でない側の医学というものがあるとすれば、それは、一体、何を指すというのだろうか」

原田正純：裁かれるのは誰か，世織書房（1995）

出発点としてこのような考え方が共有されない限り，多数者の「復興」は可能になっても，少数意見者を含むすべての人の「生活復興」はありえない。

自由心証主義

- (1) 心証形成
- (2) 事実認定
- (3) 法律構成

この三つの部分が、実際の裁判では重なり合い、相互に関連し、一体となって裁判官の全人格的判断にもとづき、判決が生まれる。どの一つを欠いても判決は成り立たない。

渡辺洋三：法律学への旅立ち，岩波書店（1990）

判決の論理過程と裁判官の心証 形成過程とはちがう

論理的には、事実認定がされ、その事実から論理必然的に結論が判決として下される、ということになる。

しかし、現実には、裁判官の「正義」に合致する心証形成(主張)をもとに、要件事実が認定され、法律構成がされて、判決(結論)に至る。

#複雑な論理を扱うための人間の一般的思考方法。上級審で判決が変わるのもこのため。

【参考】渡辺洋三：法律学への旅立ち，岩波書店(1990)

学者も一般市民も裁判官も同じ？

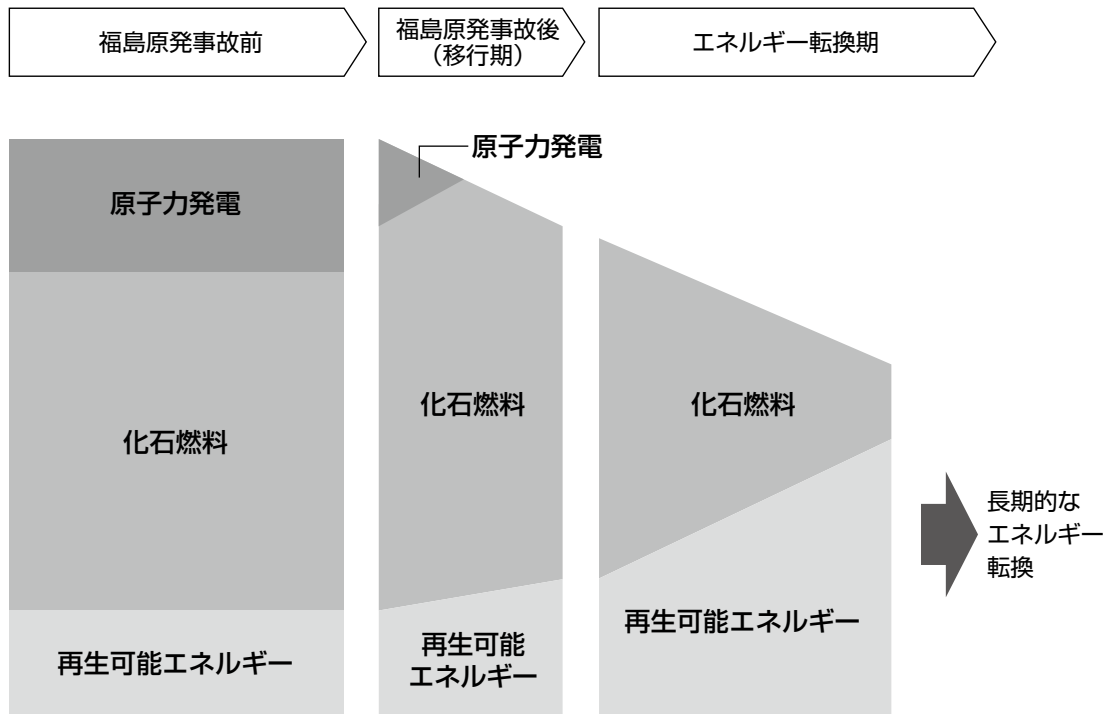
- (1) 心証形成(目的意識・主体性)
- (2) 事実認定(複雑で多様な世界から抽出)
- (3) 法律構成(論理展開)

全人格的判断？

心証形成を支配する生活状況，利害関係の存在。

それを意識できるかどうかは重要(例：利益相反の明示ルール)

少子化による経済縮小期を迎えた エネルギー転換のイメージ



1. 原発ゼロ社会の実現:
速やかに原発ゼロ社会
を実現し、持続可能な社
会を構築する。
2. 破局的な気候変動の回
避:...
3. 国および地域のエネル
ギー自立: エネルギーの
海外依存度を引き下げ、
エネルギー安全保障を
確保。省エネルギーと地
域分散型の再生可能エ
ネルギーの利用を促進、
地域のエネルギー自立
を目指す。

原子力市民委員会: 原発ゼロ社会への道(2014)

<http://www.ccneJapan.com>

高負担で持続可能性のない原発からの脱却による
現実的な負担軽減策を提言(社会的チャレンジでもある)。

市民社会における三つの「責任」

- 法的責任
例：民事罰，刑事罰，行政罰
- 道義的責任
- 政治的責任：有権者（公）教育での主体性
主権者が担う。法的責任，道義的責任を免れた場合でも，政府のまちがいにたいし主権者は政治的責任から免れない。
高橋哲哉（2012）
- 公共論の混乱：「公に従う私」（君子が天命に従う儒教道徳）でも，家の重なりによる「オオヤケ」でもなく，「私」領域と独立した公論で決める「公共（パブリック）」領域。
荻部 直（2016）

考えるべき道筋(まとめ)

- 日本での地層処分は、決して安全で確実とはいえず、「科学技術的挑戦」(賭け)は、楽観的で無責任な見切り発車をいま「わたしたちに」求めている(有権者としてどうするか)。
- 10万年後に結果的に「安定」継続地が判明するとしても、現段階で予測するのは困難。
- 学術会議提言が示したとおり、暫定保管が現実的なやむをえない選択肢。
- それにしても、未知を前提とした探究的態度が欠如しているため、情報共有は入り口段階(再処理, 核燃料サイクルの見直し必須)。

放射線被曝問題に関する発表者の主な公開資料

放射線被曝情報の誤解と混乱は、なぜ生じたか？(2013)

<http://hdl.handle.net/10110/14687>

東日本大地震・原発震災の教訓—志賀原発風下富山県の将来に向けて、黒部川扇状地研究所研究紀要(2013)

<http://hdl.handle.net/10110/11420>

東日本大震災・原発震災で明らかになった科学リテラシーの弱点—まずは「科学者の科学離れ」克服から、富山大学人間発達科学部紀要(2012) <http://hdl.handle.net/10110/11058>

「放射線安全神話」をめぐる歴史と現在：防護は誰のため、何のためか(2014) <http://hdl.handle.net/10110/13166>

「市民研通信」電子版

低線量被曝問題はなぜ混乱が続くのか—復興をさまたげる政府の放射線安全論(2012) <http://archives.shiminkagaku.org/archives/2012/03/post-286.html>

放射線教育・リテラシーはこれでよいのか—共有すべき原点に立ち返ろう(2011) http://archives.shiminkagaku.org/archives/csijnewsletter_010_hayashi.pdf

以下は発表では使用せず

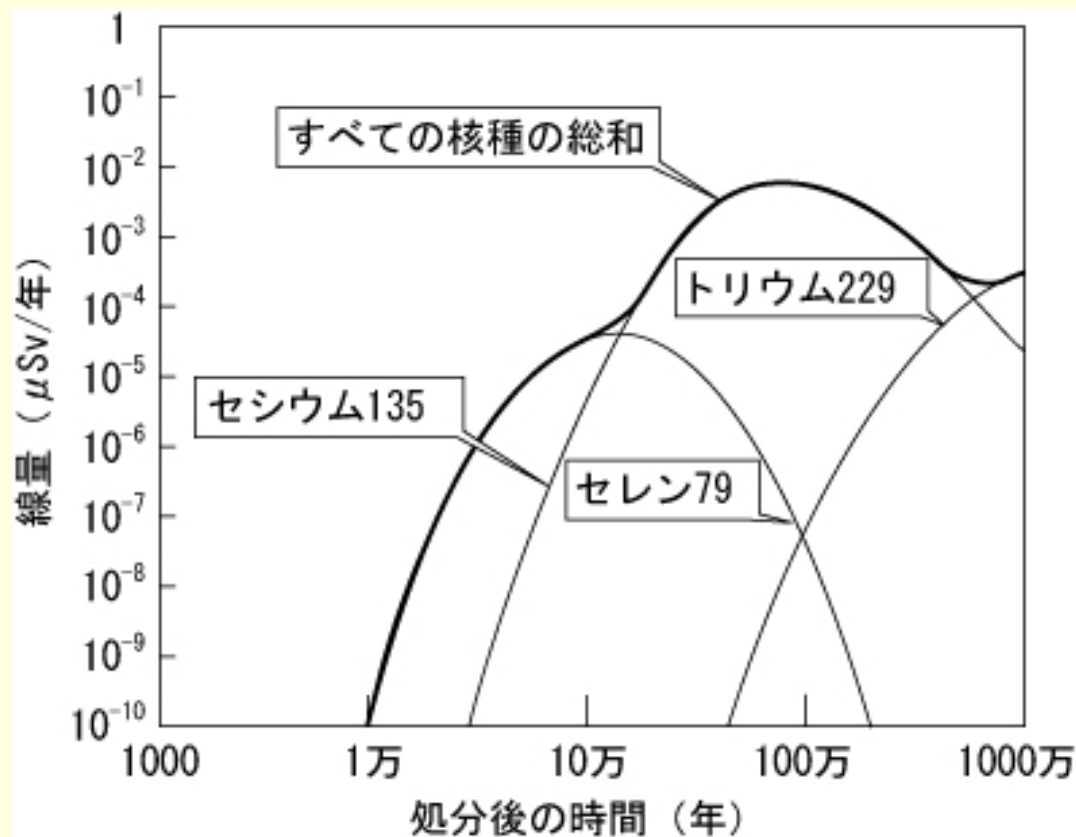


図3 ‘第2次取りまとめ’が予測する被曝線量（レファレンスケースの場合）

被曝線量はガラス固化体に含まれる全放射性核種の寄与を足し合わせたものである。総和におもに寄与する核種も示した。被曝線量の最大値がセシウム135で決まっているのは、セシウムが水によく溶けて緩衝材や地質に収着されにくい元素で、そのうちセシウム135がガラス固化体に含まれる量が多く半減期も230万年と長いことによる。1000万年後付近のトリウム229のピークは、体内被曝の影響が大きいことや、その親核種であるネプツニウム237がガラス固化体に多く含まれ半減期が長い(214万年)ことなどによる。