

**スウェーデンの原発と危機管理**  
**東北大震災と地質・地震の不安定性について**  
縮刷版

**第111回 JISSスウェーデン研究講座**

2011年7月29日

田村恵美子

元スウェーデン大使館科学技術参事官補

# 東日本大震災と原発事故とその影響

- スウェーデンの原発とエネルギー政策
- スウェーデンの危機管理 MSB
- スウェーデンの核燃料廃棄物 SKB,SFR
- スウェーデンの地震と地質構造
- 巨大地震と津波
- 世界の動向と放射線被爆
- スウェーデン放射線監視 SSM
- スウェーデンの見方とその反応
- 危機からの脱出と先端技術

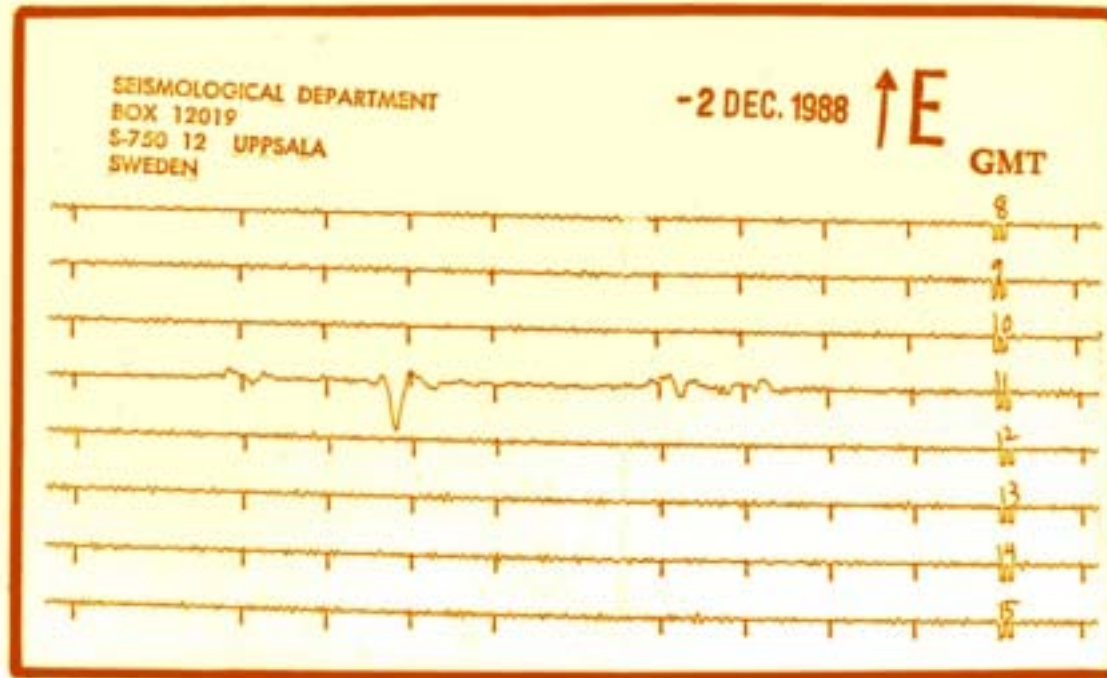
# 私のスウェーデン危機管理経験

- 88s S G Uスウェーデン地質調査所所長訪問、筑波の地質調査所、防災研究所
- 89s スウェーデン地震研究所訪問
- 有害化学物質の廃棄物調査
- 低周波の電磁波と白血病、カロリンスカ研究所疫学調査、
- 環境ホルモンの影響調査、水の膜処理技術
- TPM , QC、産業医学と安全管理
- 陸上交通の騒音公害調査
- スウェーデン未来研究所FIの科学技術調査
- 東北高校生のフォルシュマルクへの派遣事業
- スウェーデン人の広島、長崎訪問

# スウェーデン地震研究所

Emiko Tamura came to Sweden

and the world trembled.



Merry Christmas and a Happy New Year

# 青森県高校生の原発海外研修

東北原子力懇談会・電気事業連合会・仙台  
東北の高校生の使節団を研修、毎年1月末  
瑞仏のエネルギー施設を訪問し各高校でエネルギーに  
ついてディスカッション交流

I 訪問先スウェーデン;

フォルシュマルク原子力発電所

フォルシュマルク中低レベル廃棄物埋設場 S K B

ウプサラ・カテドラル高校

II 訪問先フランス;

ラ・アーク再処理工場

シェルブール・グリニャール高校

モン・サンミッシェル

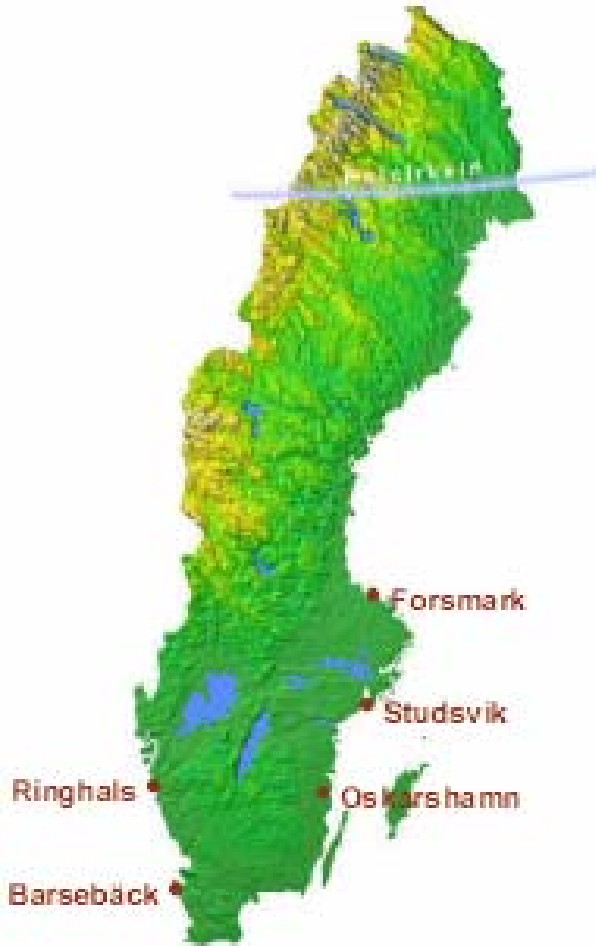
# スウェーデンの原発と危機管理

- 地震、津波、台風、ハリケーン、竜巻、砂嵐は無いが嵐、猛吹雪、雪崩、強風
- 地震は過去30年間にM4レベルが2回のみ、バルト海、海底地震
- ノルウェー、フィヨルド沿岸わづかに震源
- スウェーデンの地震研究所は地下核実験を感知する
- MSB 市民災害庁、SSM 放射線保安院
- SKI スウェーデン原子力発電検査庁
- SQC スウェーデン非破壊検査認証センター
- SWEDEC スウェーデン認定適合性評価庁

# スウェーデンの原発10基と 関連施設

- オシュカーシャム 3基 (BWR-3, Clab)
- リングハルス 4基 (BWR-1, PWR-3)
- フォルシュマルク 3基 (BWR-3, SFR)
  
- バーセベック 2基閉鎖
- スタズビック研究所

# スウェーデン原子力発電所



Forsmark  
Studsvik  
Oskarshamn  
Barsebäck  
Ringhals



# スウェーデンと日本の原発比較

- 3か所10基
- 中間核燃料貯蔵施設
- 最終処分場
- 総電力の45%
- 使用済燃料の再処理は行わない
- 11か所54基
- 中低レベル貯蔵施設
- プルサーマル
- プルトニウム産生とMOX燃料
- 総電力の30%

# スウェーデンのエネルギー 1

- 原子力 32%
  - 火力、化石燃料 33%
  - 再生エネルギー(水力を含む) 35%
- 
- 電気として 33%
  - 熱として 40%
  - 燃料として 32%
- (スウェーデンの電力は原発と水力で98%)

# スウェーデンの電力

	1990	2009	日本
水力	49.9%	46.9%	8%
原子力	46.5	42.0	31
火力	3.6	9.8	60
風力・他	-	1.4	1

# スウェーデンの原発政策

- スリーマイル後 1979. 3月
- 1980国民投票
- 石油価格下落
- チェルノブイリ後 1986
- 1989年2機停止決定、
- 10機稼働継続
- 2機閉鎖, 1991, 2005
- 地球温暖化ブーム
- イラク戦争後、石油値上がり
- 世界的な原子力カルネッサンス
- フクシマ後 20011. 3月
- 現在の10基MAXを維持するが原発の電力割合45%を維持しつつ
- 再生エネルギー(水力含む)を増やす

# スウェーデン脱原発から維持へ

- 1960-1970年AseaAtom社が9基建設BWR
- 1968年ウエスティングハウス社3基PWR
- 1980年 国民投票
- 2006年 政権交代、社民党から中道右派4党連合へ、原発政策転換
- 2007年 EU欧州連合の地球温暖化対策エネルギーセキュリティー政策
- 2009年 脱原発法修正、連立4党合意
- EU.原子力カルネッサンス、世界的傾向

# 脱原発から原発維持へ

- PLEX計画; 原子炉寿命を60年に延長
- 出力増強; 120万kw/2Ba----140万kw/1Fo
- リプレース可; 新規建設へ、全10基迄

# 段階的脱原発と維持推進

- 連立与党、4党合意、2009年推進派の自由党と反対派の中央党の合意で原発維持
- 社会民主党は段階的脱原発派だが、労働組合との調整（鉄鋼、紙パルプ業界などの支持母体が維持派）
- 環境党は段階的廃止、即時閉鎖という急進派は少ない
- 2020年頃には原子炉2機分が余る予定

# スウェーデンの反原発世論の変遷

2011.3.31

- 1979年スリーマイル島TMI事故の後19%から39%へ上昇、1980年、国民投票
- 1986年チェルノブイリ後42%に上昇、しかし22年後、世界的原子力カルネッサンス期、2008年調査では原発推進派47%、維持派36%、反原発派15%
- 2011年3月フクシマ事故の後、15%から36%へ上昇、しかし最大の関心事は最終処分場の建設



# スウェーデンの電力自由化

- 1996年 電力自由化
- 冬季の厳寒期、電力需要ピーク時はノルウェーから電力輸入増、(ノルウェーは水力98%)
- フィンランドなど北欧4カ国間とポーランド、ドイツ、ロシアとで相互売買
- 送電分離、別料金一分散発電、広域送電

# スウェーデン・リスク・マネジメント

## 1. SSM スウェーデン放射線安全庁

Sweden Radiation Safety Agency

- 原子炉は一箇所に4機以下
- (福島は、第一に6機、第二に4機、第一にはさらに7号機、8号機の2基予定していた)

## 2. MSB スウェーデン市民災害庁

- 特別防災無線と防災警報
- Emergency Preparation 緊急準備
- Multiple Scenario 多様なシナリオを想定

# MSBの役割

Swedish Civil Contingencies Agency

災害の前、中、後、防災訓練と復興

- 総合的・複合式ベースキャンプ
- 救済・捜索・人命救助
- 医療ケア、プライマリー医療
- 飲料水と衛生の確保、ごみ処理も含む
- 住宅と必需品の提供と備蓄
- スペシャリストの派遣
- 交通の確保、大型トラックの輸送
- 社会保安・復興
- インフラの確保 ライフライン

# スウェーデン原発危険区域

各原発の危険区域Emergency Zone

1. Internal zone: 0-15km圏内

2. External zone : 0-50km圏内

日本・フクシマ

警戒区域20km、緊急時避難準備区域30km、計画的避難区域、特定避難勧奨地点

# Internal Security Zone

## 15km圏内

- 屋外警報装置
- 放射線測定装置
- 集合所・避難所の備蓄と設備
- 避難用装備・道具の完備
  
- 群当局から、各戸への事前配布物（ヨウ素剤、屋内警報システム = 緊急無線デジタルシステムRDS、情報冊子）

# RDS Rake1 ラーケル

- A digital radio communications system
- デジタル無線通信機、
- 警察、公安、消防、救急医療などで使われている
- MSBはラーケルのシステム開発と普及
- 市町村、県群、国レベルで普及
- 緊急災害時に信頼性が高い

# Emergency preparedness MSB原発事故非常時準備

- 通常のルーチン避難訓練+プラス
- 各原発で4年ごとに大規模訓練を行う、救急機関emergency organisationの800名と、80の組織(省庁、企業、大学を含む)
- 原発での避難訓練と、異常事態測定実習
- 安全管理室職員の訓練

# 危機管理局

## Crisis Management Office

- 2004年12,スマトラ大震災の後に新規創設被災地域に2万人、548名死亡、行方不明
- 災害の国内および国際的モニタリング
- 危機管理と広報、危機緊急分析
- 危機訓練と実習、
- 国際協力、国連の要請を受けて24時間以内に救援隊がスウェーデンを出発する



# 放射性廃棄物

スウェーデンは使用済み核燃料の再処理は行わない。

- スウェーデンは1985年ウラン採鉱中止した
- ウランの半減期 44億年 （地球は46億年前にできた）
- 原子力を活用するのであれば、処分法がなければ、地球上は放射性廃棄物だらけになってしまう。どうするか？
- ナチュラル・アナログ、－自然界にある類似現象に学ぶ、（名古屋大、吉田英一）

# ナチュラル・アナログ 天然原子炉

- アフリカのガボン共和国
- 20億年前に、天然の状態で自発的に核分裂を起こしたウラン鉱床が見つかった。
- そこにはプルトニウムをはじめとする核分裂生成物が残存していた。
- それは何を意味するか？
- 地下深層の地層は核物質を隔離できる！

# ナチュラル・アナログ2

## 類似現象から学ぶ

- スコットランドの地中から2000年前の鉄製の釘がほとんど錆びることなく発見された
- 2000年前のヨーロッパでは着色のためにウランを混入させたガラス工芸品がつくられていた
- 放射性廃棄物をガラス固化体にして地層処分が可能だ

# 放射能半減期

- U 2 3 8 44億年、U 2 3 5 7億4百万年
- P u 2 3 9 プルトニウム 2万4千年
- Puは原子炉中でU238から多量に作られる  
空気中で発火し易い、高速増殖炉の燃料  
MOXとして使われる、元素中最も毒性が  
高い。危険なイオン化放射が長期に渡って  
存在する強力な発癌物質 (理化学辞典)

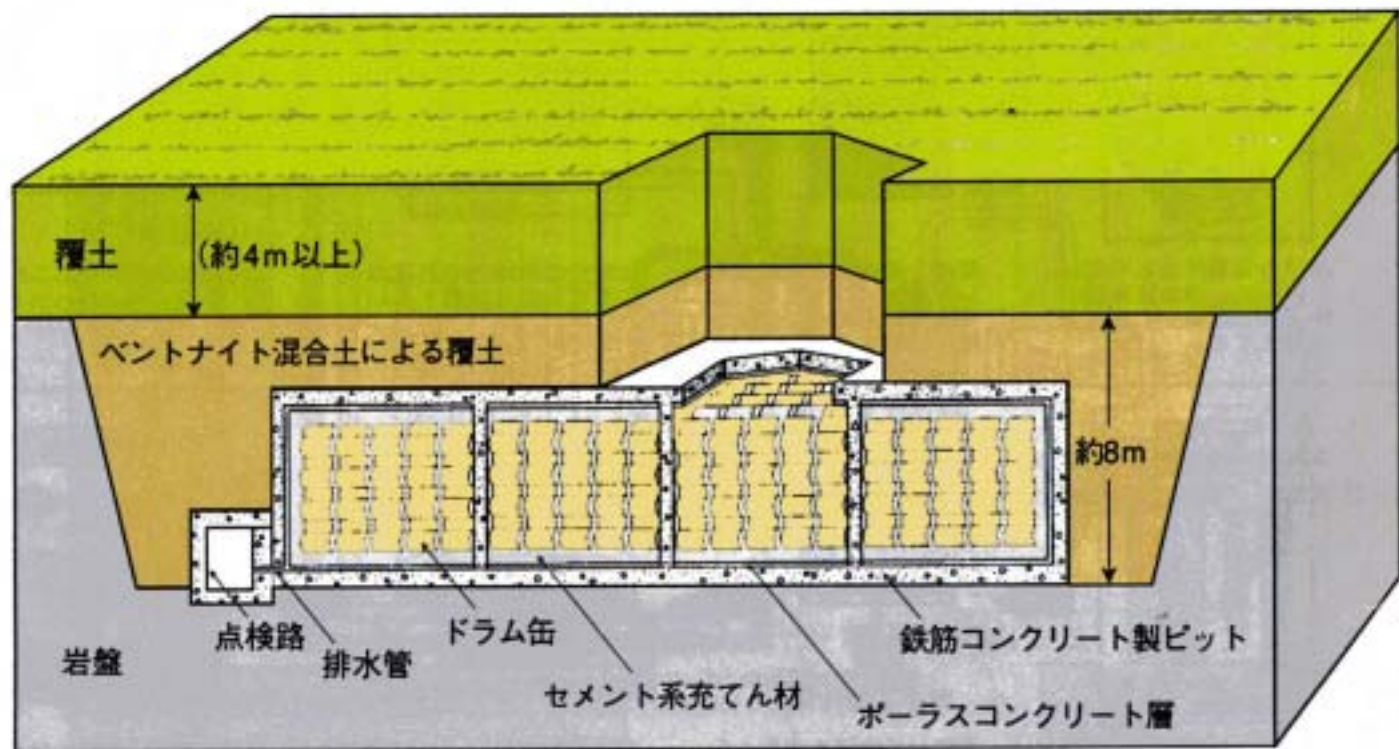
# スウェーデンの核燃料廃棄物

- SKB社 Swedish nuclear and waste management co放射性燃料廃棄物管理会社  
1972年電力4社と合併で設立
- フォルシュマルク中低レベル廃棄物最終処分場：海岸から3km離れた深さ50mの海底岩盤内にある埋設場(青森六ヶ所に相当)
- オシュカーハムの中間貯蔵施設は-30m
- スウェーデン国内全基からでる40-60年間分の中低レベルの廃棄物処分可能

# 放射性廃棄物最終埋設場

- 最終処分方法KBS-3はオシュカーハムのキャニスター・ラボとエスポ・ハードロック・ラボ(地下460m)の2か所で30年間研究開発を行った
- オーバーパック金属容器, 銅製のキャニスターに封入して地下に埋設する
- ベントナイト粘土材を緩衝材として詰める
- 輸送船SigynでClabとSFRへ輸送

# 低レベル放射性廃棄物埋設センターの概念図



# Clab使用済燃料中間貯蔵施設

- 地下25 - 30mの岩洞に5千トン貯蔵容量  
プール7基
- 将来9千トン容量に拡大する計画
- 再処理はCOGEMA社(アレバの前身)に  
委託していたが、再処理を行わず埋設す  
る
- BSABでキャニスターにいれ永久最終処分  
場へ送る(キャスク貯蔵方式) SFR,SFL



# SKBスウェーデン放射性廃棄物管理会社

## スウェーデン最大の環境保護プロジェクト

- ・高レベル廃棄物最終処分場 Forsmark 2025年から
- ・長寿命中低レベル最終処分場 SFL, 2045年から
- ・短寿命中低レベル最終処分場 Forsmark SFR 1988年から。海岸から3km離れた深さ50mの海底岩盤内にある処分場、青森六ヶ所に相当
- ・使用済み燃料中間貯蔵施設 Osakrsham/Clab、地下30mの岩洞内のプール

# 高レベル放射性廃棄物最終処分場経緯

- ・1992年から公募に応じ2自治体でSKBが調査  
ストールウーマンとマーロン、住民投票で否決
- ・1995年から6自治体の議会が受諾
- ・2000年、SKBが上記6自治体から3自治体を選定、2002年サイト調査開始
- ・テーエルブ自治体、サイト調査を拒否
- ・エストハンマルとオスカーシャムが残る
- ・2009年6月エストハンマルのフォルシュマルクに決定、Soderviken 19億年の花崗岩
- ・2011年3月に分析結果をSSMに提出、2025年に最初の廃棄物受け入れ開始予定
- ・地下500mの岩盤に1万2千トン埋設容量

# 高レベル放射性廃棄物地層処分の概念

高レベル放射性廃棄物が、将来のいかなる時点においても人間とその環境に影響を与えないようにする

廃棄物自体が、直接人間に影響を与えないように、人間との距離を将来とも保つ

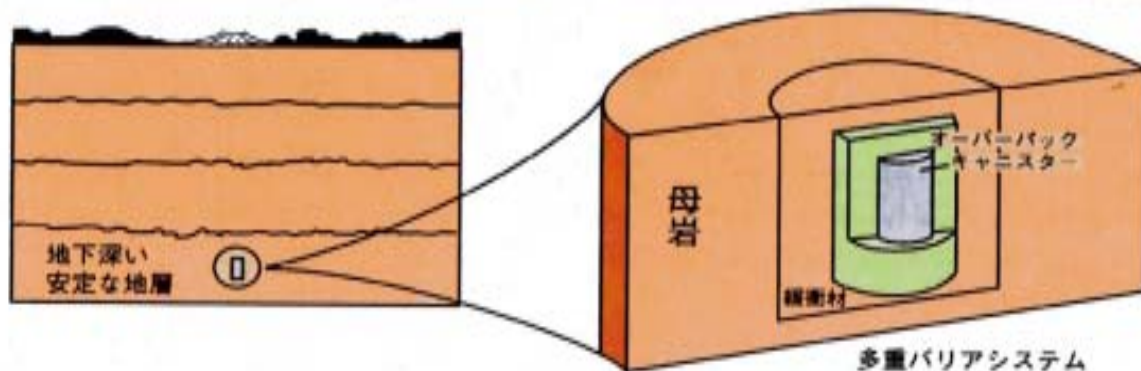
適切な条件を持つ地層（「安定な地層」）を埋設場所とする

- 地殻変動等の影響が小さい
- 地下資源の存在可能性が低い
- 適切な埋設深度が確保できる

廃棄物中の核種が地下水に溶け出ることを想定しても、人間とその環境に影響を与えないようにする

「多重バリアシステム」を構築する

- 廃棄物と地下水が触れにくい
- 触れたとしても核種が溶けにくい
- 溶けたとしても埋設場所から移動しにくい
- 移動したとしても、人間とその環境に影響を与えない



# SFRの容量拡張計画

- 原発使用済み燃料のみならず医療機関、研究所、工場からの放射性廃棄物も受け入れている
- スウェーデン全原発の50 - 60年分
- しかし廃炉の解体廃棄物の容量分は無い
- 2020年までに20万立方に拡張計画

# 英、仏、独、米の貯蔵施設

- 英国：BNFL社のセラフィールド貯蔵施設4千2百トン
- フランス：AREVA社のラ・アーグ、1万トン
- ドイツ：ゴアレーベン、アーハウス、バックースドルフ(中止)キャスク方式を開発した
- 米国：サリー、ロビンソン、オコーニー、カルバットクリフ、横型サイロ貯蔵

# 高レベル放射性廃棄物施設操業予定 諸外国の状況

- 米国 ユッカマウンテン、カールスバッド2020年
- フィンランド、オルキルオト、2020年
- スウェーデン、エストハンマル、2023年
- カナダ、場所、期日とも未定
- スイス、場所未定、2040年以降
- フランス、場所未定、2025年頃
- ドイツ、ゴアレーベン、2030年頃
- 英国、場所未定、2040年頃
- 中国、場所未定、2040年中頃
- 日本、場所未定、2028年以降 幌延？

# 世界の再処理工場

(2005年10月現在)

## 運転中

国名	設置者	設置場所(工場名)	処理能力	操業開始年
フランス	フランス核燃料公社 (COGEMA)	ラ・アーグUP2	1,000tU	1967
		ラ・アーグUP3	1,000tU	1990
イギリス	イギリス原子燃料会社 (BNFL)	セラフィールド(THORP)	900tU	1994
ロシア	ロシア原子力省 (MINATOM)	チェリャビンスク(RT-1)	400tU	1971
日本	日本原子力研究開発機構 (JAEA)	東海再処理工場	210tU	1977

## 建設中

国名	設置者	設置場所(工場名)	処理能力	操業開始年
日本	日本原燃株式会社 (JNFL)	青森県六ヶ所村	800tU/年	2007

出典：IAEA-HP<sup>®</sup> Nuclear Fuel Information Systems<sup>®</sup>

# フランス・ アルバセラ・アーク再処理工場

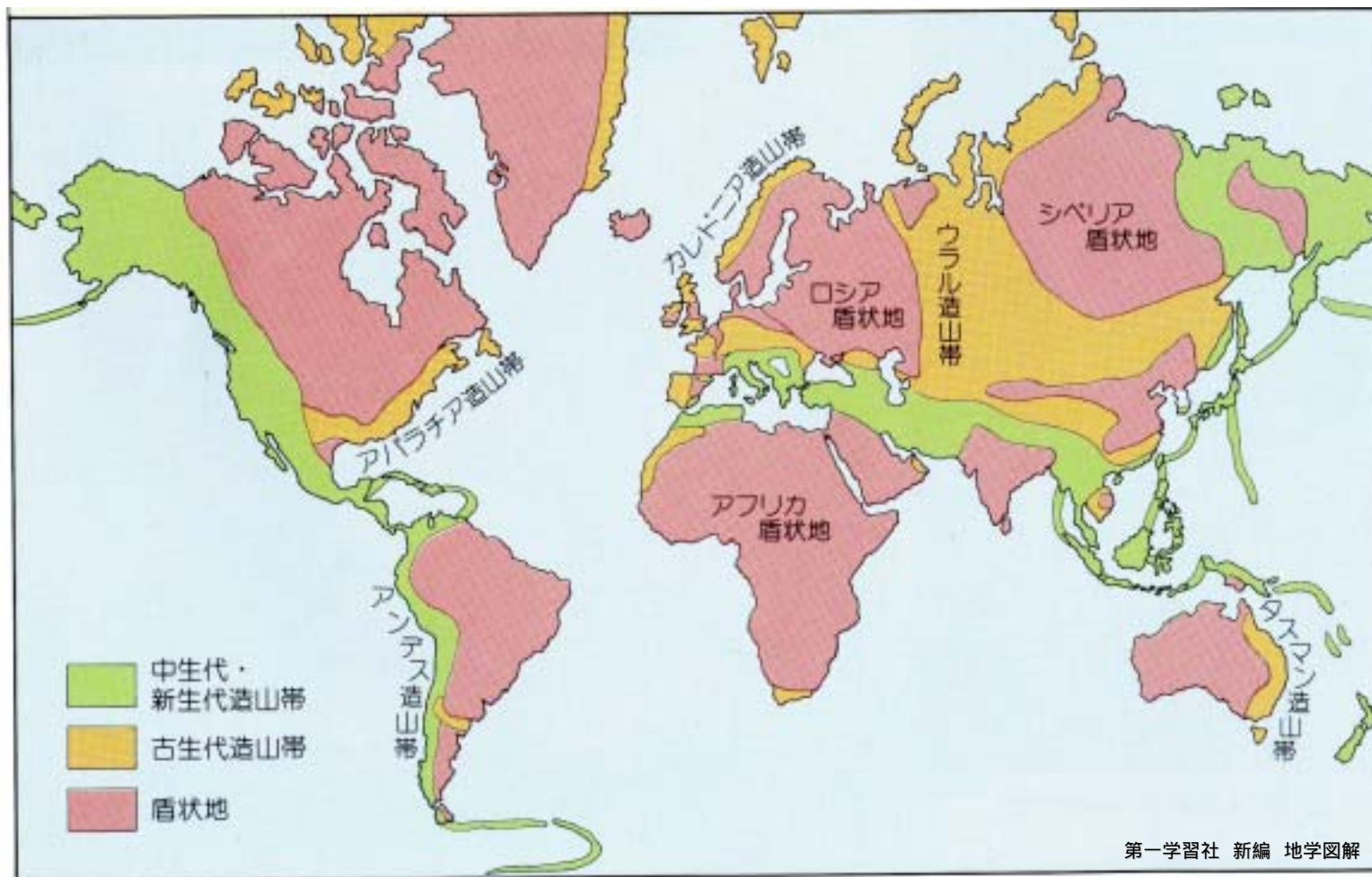
- UP 2 国内の使用済核燃料の再処理
- UP 3 海外の使用済核燃料の再処理
  
- 操業に伴う周辺環境への放射線の影響は年間0.02mSv以下
- 六ヶ所村の再処理工場はアルバセラの技術協力を受けた



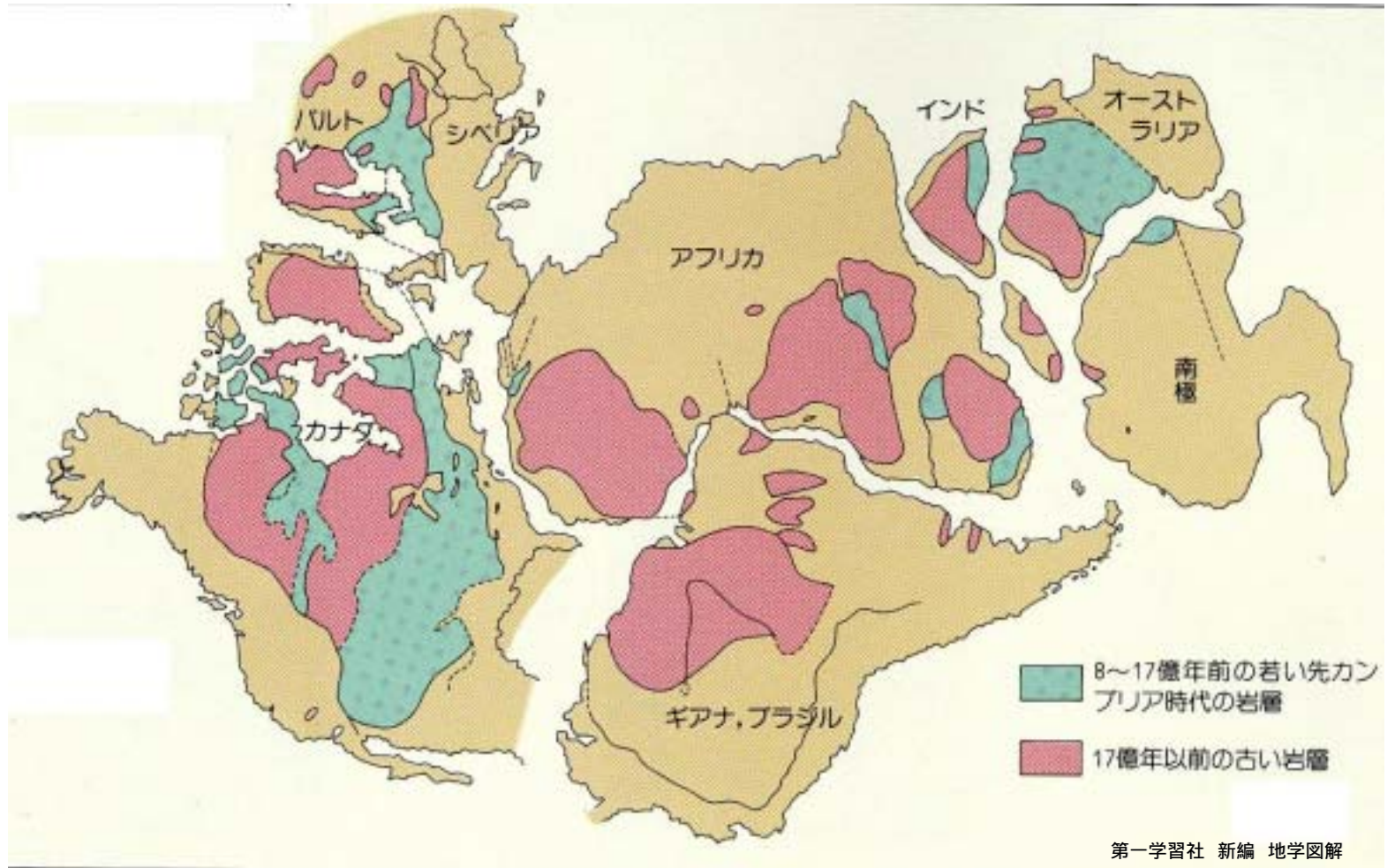
# 10万年の安全

- 10万年前、氷河時代、マンモスがいた頃、ヨーロッパ南方には人類もいた。
- スウェーデンには氷河期にはヒトはいなく、スウェーデン南部はツンドラに覆われていた
- 氷河期は2万5千年前にクライマックスを迎え全ヨーロッパが氷河に覆われた
- 約1万5千年前、氷河が後退し、温暖期に向かう。スウェーデンの歴史はここから始まる。バイキングやグスタフヴァーサの物語を経て、ついに今日の福祉国家を建設した
- では10万年後の未来はどうなるのか？
- SKBは核廃棄物処分場の安全を10万年保障する
- 我々の分析では100万年もカヴァーする

# 世界の地殻 1



# 世界の地殻 2

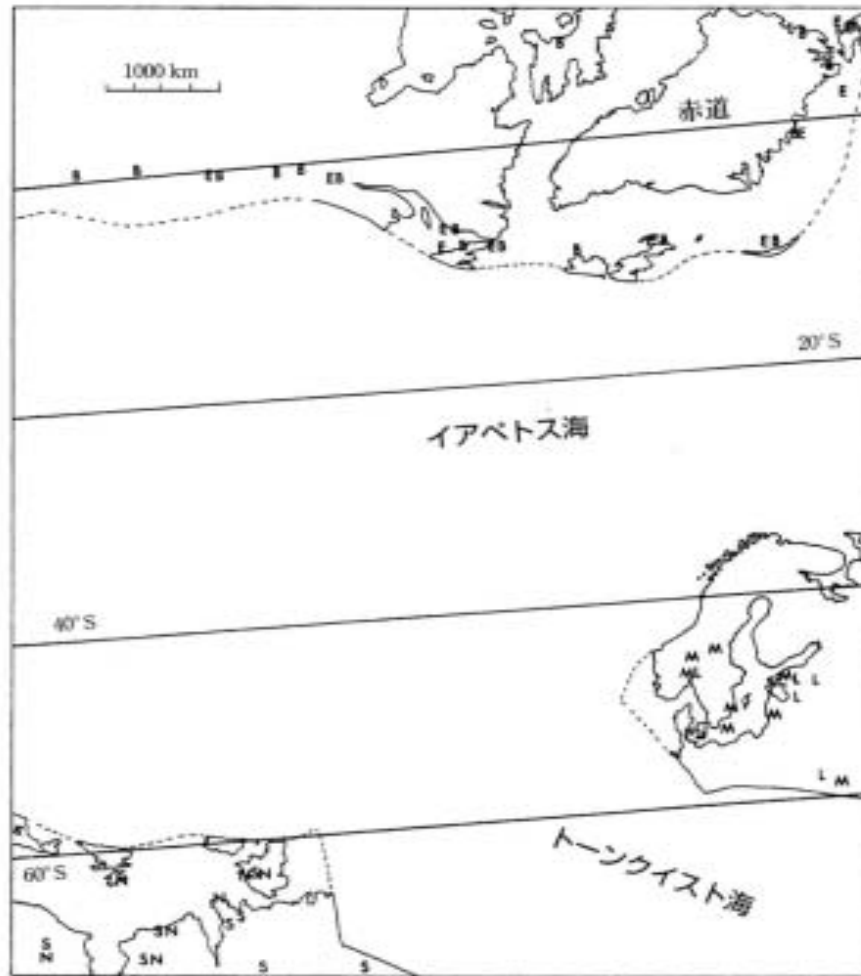


# カレドニア山地



スカンジナビアのカレドニア山地のナップはどちらから来たのか？ トルンボーム教授（左）とスヴェノニウス教授（右）が自分の見解を押しあっている。E・エルドマン作（1896年）

# 4億7500万年前の古代海



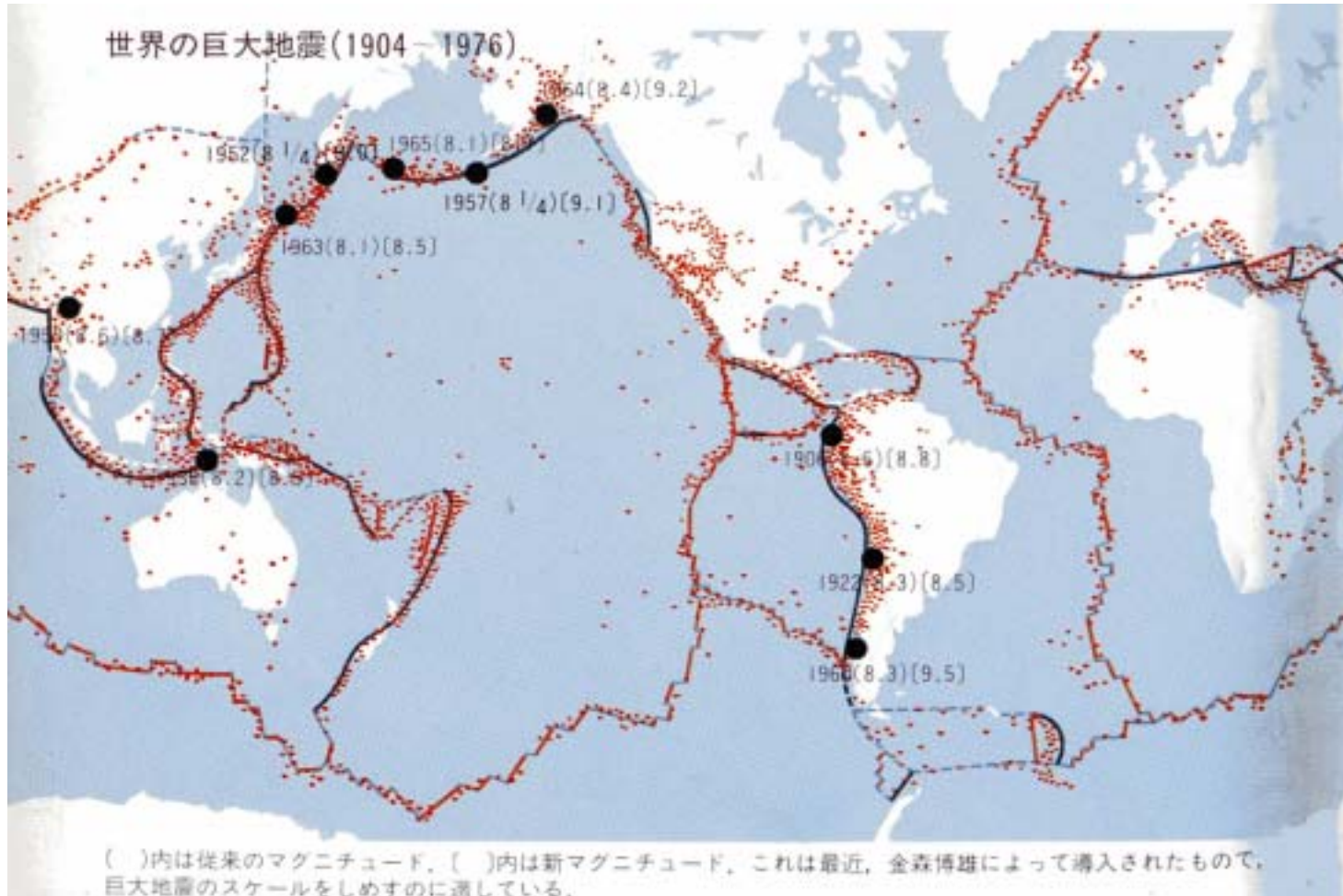
1982年にロビン・コックスと私は、4億7500万年前にあたるオルドビス紀初めに、アヴァロニアとスカンジナビアのあいだにトーンクイスト海があったという説を提唱した。BEMLSNというアルファベットは古代大陸の典型的な化石を表わしている。たとえばNは本文で紹介したネセウレトゥスである。もとの論文は「ロンドン地質学会誌」に掲載された。

出典 地球46億年の歴史

# スウェーデンと日本の地質比較

- 超安定構造
- プレカンブリアン
- 固くて古い岩盤 SFR  
は19億年前の岩盤
- オルドビスーゴトランド紀
- 地震はM. 4級が過去30年に2回
- 火山帯にない
- 超不安定断層構造
- 第三紀層と第四紀層
- 火山灰に被覆された  
軟弱地盤－液状化
- 古生層中期から新生代まで全ての地層
- プレートがぶつかる地点にある危険地域
- 火山列島と地震帯

# 世界の地震活動分布



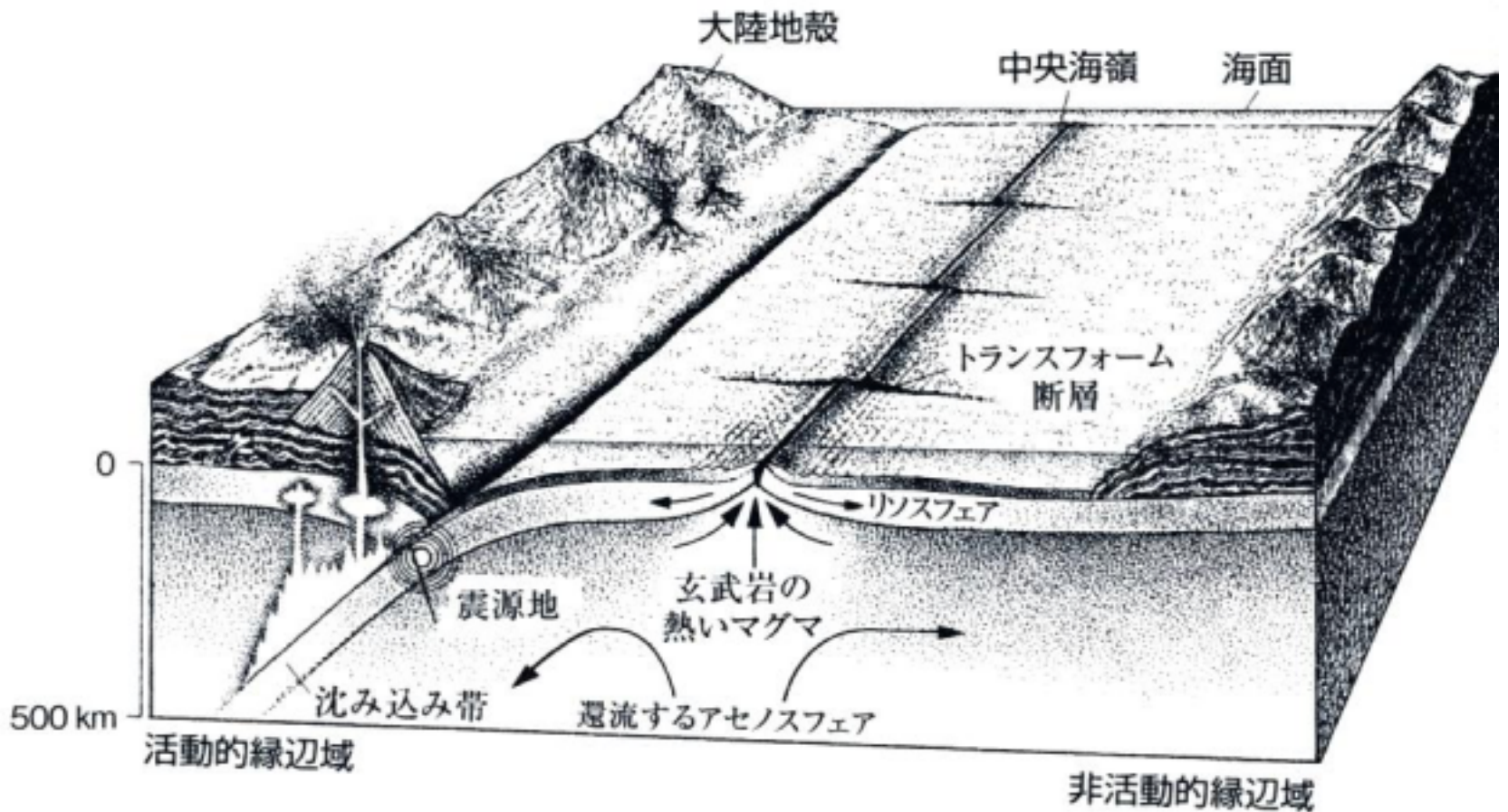
# 世界のプレート分布とプレート間の運動





# 地震のサイクル

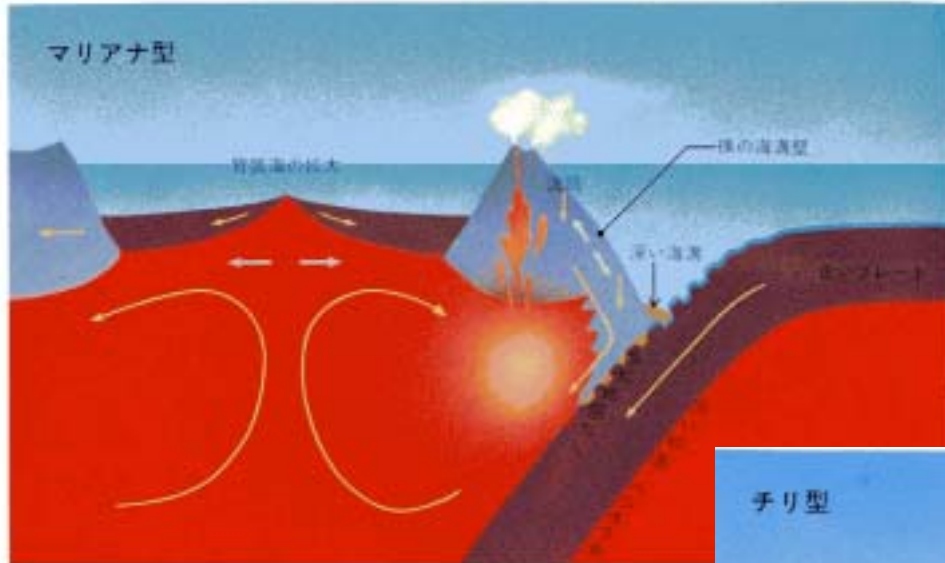
- プレートの相対運動で地震の連動で津波、火山噴火、斜面崩壊、大地震を誘発する
- 1000年単位で大活断層がずれ動く、
- プレート境界線では50 - 100年サイクル
  
- 大規模地震が起きると地球全体がしばらく自由振動して1 - 2か月揺れる, 余震継続



現在の考え方：海洋と大陸の単純化した断面図。マグマの上昇流と海嶺拡大による新たな地殻の誕生、海洋地殻の沈み込み帯での消滅、島弧、マグマの発生を示している。

# 沈み込み様式

## ■二つの沈み込み様式



黄矢印は運動、ピンクは力の向き



# 軟弱地盤と堅固な岩盤

- スウェーデン、ストックホルム、やニューヨークは5億年以上前にできたコチコチの岩盤
- 南部北上山地、飛騨山地にゴトランド紀層、気仙沼に二畳紀層、古生界は存在する。
- 東京を含む関東平野は約二万年前の堆積層で、ズブズブ
- 高層ビルは地盤は、せいぜい2,30年前の東京礫層や10 - 100万年前の土丹層

# 日本列島

- 日本の弧状列島は4枚のプレートの相対運動でできた。太平洋の底からみると日本列島は1万m級の大山脈
- 活火山が100以上ある。
- 富士山の下にはマグマ溜りがある
- 20 - 30年後に南海トラフに巨大地震がおこる、と連動して富士山が噴火する
- 東南海地方に地震の空白域がある。

# 東日本大震災前の前兆

- 2011年1月 霧島岳連山新燃岳 噴火
- 2011年2月22日 ニュージーランド・クライストチャーチM6.3、直下型
- 2011年3月初旬 ハワイ・オアフ島、キラウエア火山マグマ流出活発化
- 太平洋プレートが東西南北全方向へ拡大を始め、プレート境界面に膨大な圧力エネルギーがたまっていた限界を超えた

# 大津波の予測ができていたか

- 東北電力、女川原発と貞観津波869.11
- 箕浦東北大教授、貞観津波を同定1990  
女川原発は盛り土を施工した。
- 今回の東日本津波は貞観より大規模だった。東北大・災害制御研究センター
- 原子力安全委員会、元委員談話「今回の事故後、最近貞観津波を知った」読売新聞

# 巨大津波 M8以上の地震と

- 2000年前 高知に巨大津波 M9以上
- 869年 貞観大津波 (三陸)
- 1896年 明治三陸大津波
- (2008年8月 宮城沖 M7.2)
- 2011年 東北三陸大津波 M9.0
- 東南東に24m岩盤が動き3m隆起した
- ? 次は東海、東南海地震



# 世界の大地震M7 - 8級

- 1872年 インヨ大地震
- 1886年 チャールストン地震
- 1899年 アラスカ地震
- 1906年 4月サンフランシスコ地震
- 1906年 8月チリ地震 M8.3
- 1960年 チリ巨大地震。M9.2
- 2003年 12月イラン地震
- 2010年 1月ハイチ地震、M7.0, 23万人死亡

# M9級の巨大地震

- 世界中の巨大地震がプレートの沈み込み地帯で起こっている
- 1960年 チリ地震 M9.5
- 1964年 アラスカ地震 M9.2
- 1923年 関東大地震 M8.2, 1995年阪神淡路 M7.0
- 2004年 スマトラ地震 M9.2
- 2010年 ハイチ地震 M7.0
- 2011年 東北三陸沖地震 M9.0

# 東海・南海地震の予測と 浜岡原発

- 53枚のカードを3年に一枚の割合でめくっていき、41枚までめくったが、まだジョーカー(大地震)が出ていない。
- 残りは12枚しかないから次に出ても少しも驚くにあたらないが、最後まで出ないこともありうる
- 大地動乱の時代、石橋克彦、1995年

# 近々の予測

- 日本海溝地震が起こる(カリフォルニア大、金森教授)、2006, 2007の千島海溝
- 房総沖でM8級が起こる(防災科学技術研究所、岡田理事長) 17世紀に起きた
- 海溝の東でM8の可能性、福島付近でM7級の可能性(名古屋大、鷲谷教授)
- 首都圏はM7級の可能性(東大平田教授)
- 東海・東南海大地震が30年以内に起こる

# フクシマについてスウェーデンと 世界の反応

- 史上最悪の原発事故
- 在日80 Km圏内日本人に避難指示・ドイツ、スウェーデン・ロシア・EU諸国
- エリクソン関西へ退避
- イケア、関西へ退避
- 救助ロボット派遣
- 米国・トモダチ作戦・日米関係強化のチャンス
- フランス原子力ビジネス・チャンス
- 原発廃止、縮小の動き、ドイツ、イタリア、スイス、ベルギー

# 原発維持方向、新規計画無し

スウェーデン 10基

• カナダ 18基

• チェコ 6基

• スペイン 8基

• オランダ 1基

• スロバキア 5基

• スロベニア 1基

• ハンガリー 4基

# 脱原発の方向

- ドイツ 2000年国民投票、2011年5月、全17基を2022年までに全廃を決定
- ベルギー 2003年に決定、運転期間40年を10延長して、2025年全7基全廃
- スイス 1987年全廃決定、現5基の寿命が尽きる2034年まで電力の40%維持
- イタリア 1987年全廃決定、全5基閉鎖、2011年6月国民投票で再決定、

# イタリア

- 1987年 チェルノブイリ後、 国民投票、 4ヶ所、 5機を閉鎖
- フランスから電力輸入、 総電力の1割以上
- 電力コスト高、 産業界から原発再開要求
- ベルルスコーニ首相の再開・新設計画
- 2009年4月ラクイラの地震、 309名死亡
- 2011年4月、 原発の無期限凍結
- 2011年6月、 国民投票、 54.8%の投票率  
廃止決定、 再生エネルギーへ向かう



# スウェーデン原発維持

- 1972年放射性廃棄物の最終処分方法がないなら新設の停止案、否決
- 1980年国民投票 投票率75.6%、
- 現在、原子力容認 58.0% (反対36%)
- 2010年迄の全廃案を修正、増力は可
  
- 最大の関心事は最終処分場建設

# アフターフクシマAF

## スウェーデンでの一般市民の反応

- スウェーデンには真摯にとらえられた。
- 二つのインパクトを与えた、安全と廃棄物
  - 1. 現行の原発の安全
  - 2. 原発の長期廃棄物処分
- 誰も日本を責めていない、むしろ冷静に穏やかに耐え、乗り越えようとしている日本に感銘をうけ尊敬している。日本の技術を信頼している

# フクシマ第一のスウェーデンの 専門家の見解

- GEによって1960年代に建てられた原発は、すでに70年代にはその危険が指摘されていた。燃料棒が超過熱されると格納容器が破壊されるだろう。厚い鋼鉄とコンクリートの外郭に防護されてはいるが、フクシマ第一のマーク 型は物理的に頑強ではない。高負荷のもとではあまり安全ではないと信じられていた。3月15日紙

# スウェーデンの世論変化

## BF と AF

原発推進派	現状維持	縮小・廃止へ
47%	36%	15%
21%	36%	36%

# スウェーデンの原発事故

- 2006年7月25日午後1時
- フォルシュマルク原発で炉心緊急冷却システムと予備の冷却装置が電氣的トラブルで止まり、炉心溶融につながりかねない状態になった。
- 3機のBWR原子炉のうちの1号機
- IAEAのINESレベル2の事故に相当
- メンテナンスの制御部分がショートして電源が停止し、原子炉を緊急停止した。
- 操作員により炉心溶融に至る前に2台の非常電機の復旧に成功した。

# 非公開

- フォルシュマルク原発事故2006年のあと国内にある10基の原子炉のうち4基を停止させた。
- この事故のニュースは2日間にわたり非公開とされた。

# 世界の風力発電

万kwh

	2010年の新規容量	2010年末現在
ドイツ	149.3	2721.4
スペイン	151.6	2067.6
イタリア	94.8	579.7
フランス	108.6	566.0
英国	96.2	520.4
デンマーク	32.7	375.2
ポルトガル	34.5	370.2
オランダ	1.5	223.7
スウェーデン	60.3	216.3
中国	1650.0	4228.7
日本	22.1	230.4

# スウェーデンの再生エネルギー

- 水力、風力、
- バイオマス(ヴェステルボッテン、ウメオと岩手県で木材・バイオマスで交流)
- ごみ発電、コージェネレーション、コンポスト(地域産業、福祉施設と提携、単一廃棄物のコンポスト化、燃料化)
- 北欧での発電排熱やごみ排熱利用の普及率50 - 80%(日本は15%)



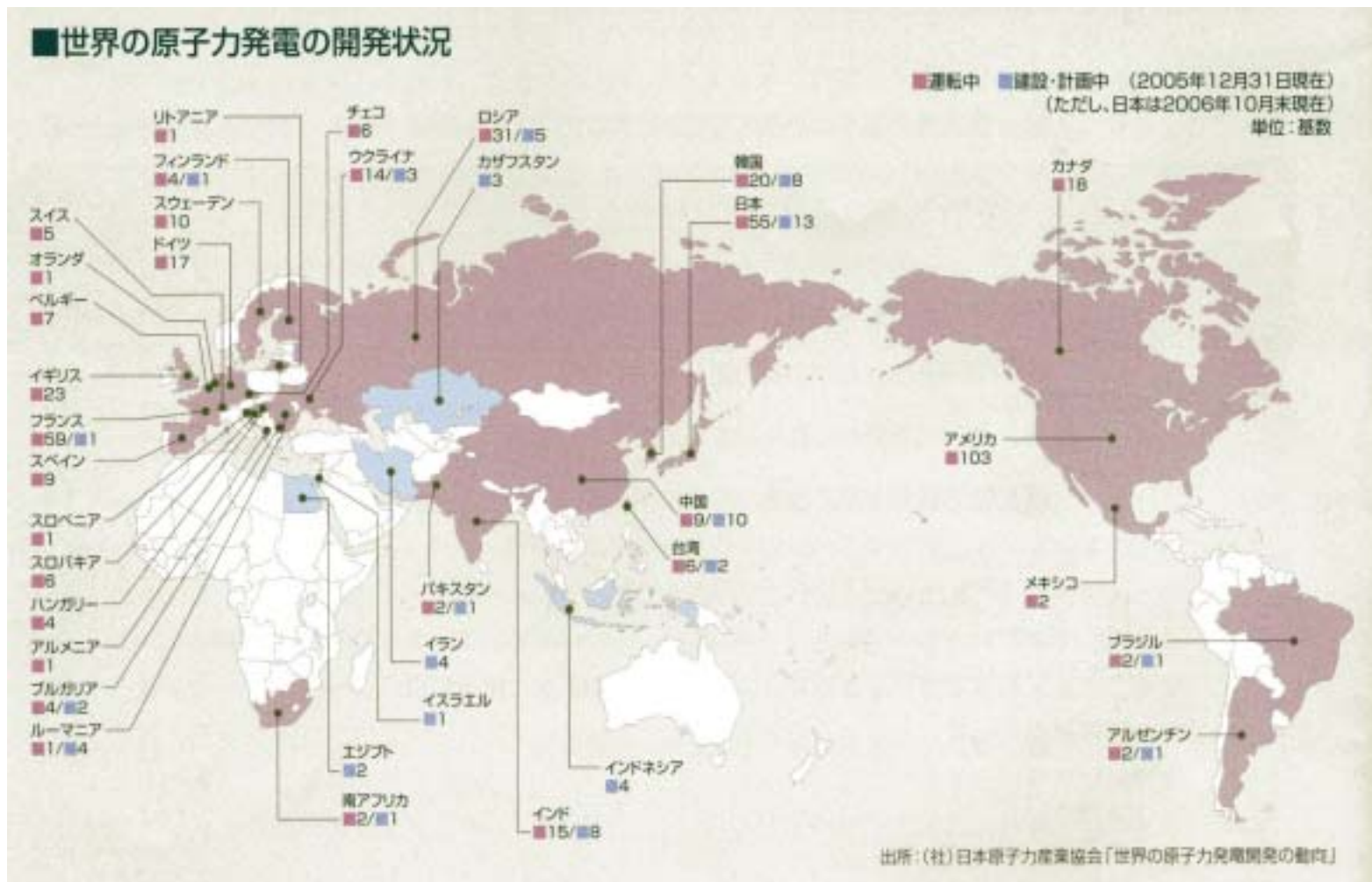
# 世界の原発推進派

- 米国 104基 (SMI後30年間新設なし)
- フランス 58基、電力の72%原発依存
- インド 19基、建設中12基、急速な経済発展とエネルギー需要急上昇
- 中国 現13基、建設中30基 + 23基
- インドネシア、ベトナム、トルコ導入予定
- フィンランド、原発新設計画2基
- 全世界で稼働中440基、建設中と計画中を合わせて総計531基

# フィンランド原発推進策

- 2010年4月原発新設計画、3基申請のうち2基承認 - 2018年と2020年運転予定
- ロビーサ原発 2基
- オルキルオト 2基 + 3号機建設中2012年6月運転開始予定、 $2 + 2 + 1 =$  全5基
- フォータム社のロビーサ3号機は却下
- フィンランドは電力をスウェーデンやロシアから輸入しているので電力自給率向上をめざす

# 世界の原子力発電の開発状況



# 原発大国・米国

- 全104基のうちサンアンドレアス断層近くに4基の原発稼働中
- デイアブロキャニオン原発2基 (M7.0迄)
- サンオノフレ原発2基 (M7.5迄)
- 1976年 カリフォルニア原子力安全法、  
原発新設を禁止した
- 稼働していた7基のうち3基は廃炉、残る4基は稼働中

# 米国西海岸の原発の危機

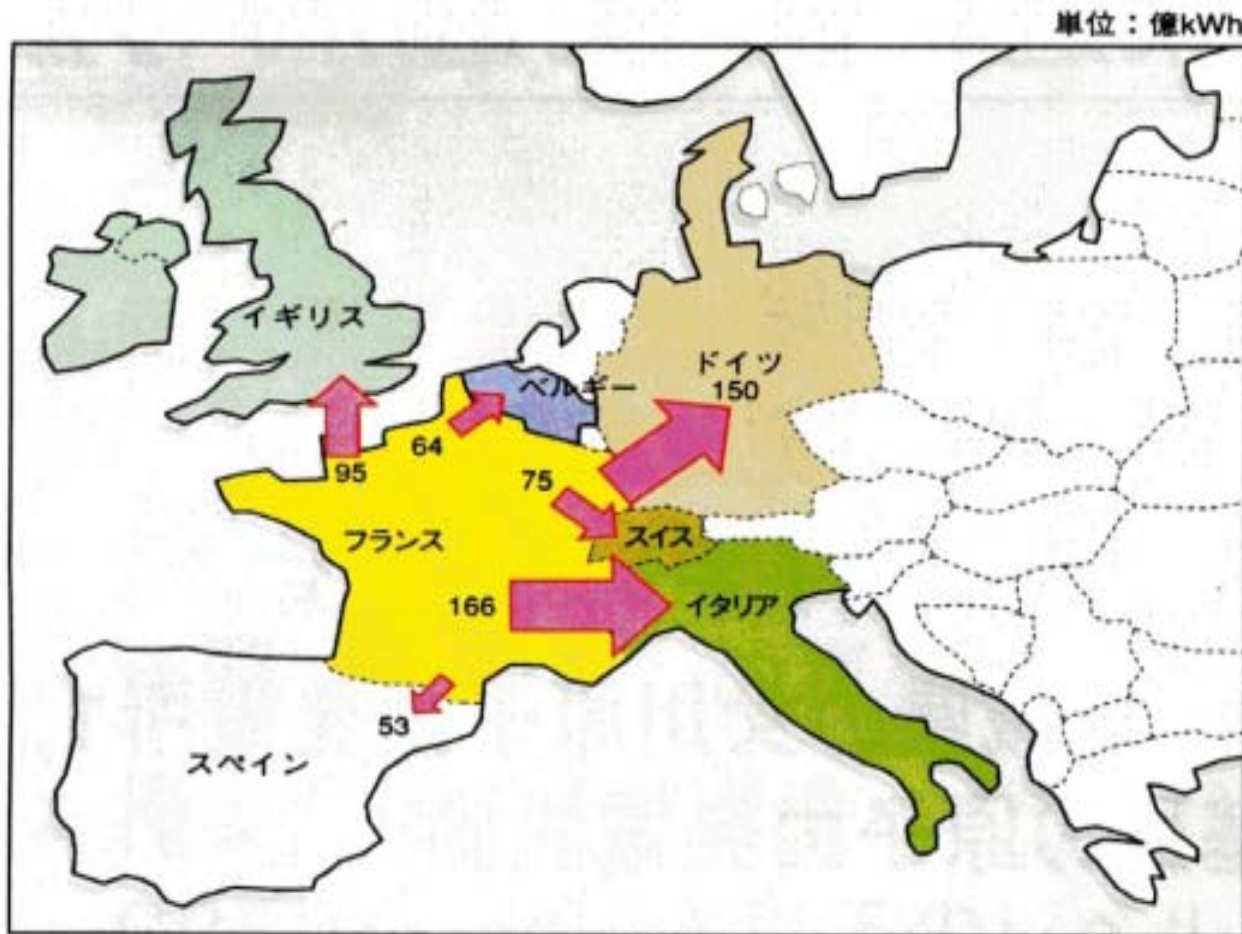
- 1989年ロマプリータ地震、M6.9
- 1906年サンフランシスコ地震 M7.8
- 1994年ノースリッジ地震 M6.9
  
- M8以上の地震がきたら原子炉は持ちこたえられても周辺機器は破壊される
- 新設する際に、掘削調査をすれば新しい活断層が見つかる

# 米国の原発の危険性

- 大規模洪水、竜巻、ハリケーン、地震
- カリフォルニア州に福島炉と同型のマークI型 BWR 4基が稼働中、3基廃炉
- 9.11テロ、米国固有の危険性
- 2002年、原子力発電所過酷事故緩和策
- 追加の安全措置として、消火ホースの設置、使用済燃料プールも防護強化

(原発建設費値上がり傾向、一機70億ドル)

# フランスを中心とした電力の輸出入



(注) 四捨五入の関係で合計値が合わない場合がある。

# 世界の原発推進と維持

朝日新聞2011.5.27

- 米国 69% (104基、増設賛成32%)
- 中国 69% (14基 + 26)
- フランス 50% (58基 + 1)
- ロシア 48% (28基 + 11)
- 韓国 30% (21基 + 5)
- ドイツ 18% (17基、増設は不可)
- 日本 45% (増設賛成4%、54 + 14)



# 日本での原発世論の変遷とできごと

- 1957年原子力発電開始、東海村JRR - 1、スウェーデンは1945年
- 1963年動力試験炉開始、スウェーデンは1964年
- 1969年原子力船むつの進水
- 鉄腕アトム60s、ドラえもん70s、小型原子炉駆動ロボットブーム
- 1971年米アイダホ国立原子力研究所、緊急炉心冷却装置が不作動
- 1973年伊方原発反対運動
- 1974年原子力船むつの放射能漏れ
- 1979年スリーマイル島原発事故、L5 1986年チェルノブイリ事故
- 1995年 高速増殖炉もんじゅナトリウム漏れ、火災事故、L1
- 1997年 動燃のアスファルト固化処理施設火災爆発事故
- 1999年9月JCO東海村ウラン加工工場臨界事故、2名死亡、L4
- 2002年 東電の原発トラブル隠し
- 2000年代、地球温暖化CO<sub>2</sub>削減、原子力推進政策
- 2007年新潟中越沖地震M6.4 柏崎刈羽原発、全7機停止
- 2009年政府世論調査、推進59.6%、廃止16.2%

# 日本の原発の現状

- 営業運転中、35基停止（全54基中）  
3分の2が停止状態
- 廃炉決定、4基
- 政府要請で停止、3基（浜岡）
- 震災で停止、10基（福島第2が6機、東海第2、女川3機）
- 定期検査中で停止、22基、
- 玄界、泊3・7，大飯3・1
- 建設計画中 14基

# 日本の原発推進見直しか

- 現在54基、世界3位
- 2030年までに14基増設計画、全電力の50%をめざしていた
- 太陽光と風力を20%、脱火力(現60%)
  
- 浜岡以外は継続、ストレス・テストの採用
- 2011年5月G8, サンライズ計画、再生可能エネルギーの開発推進

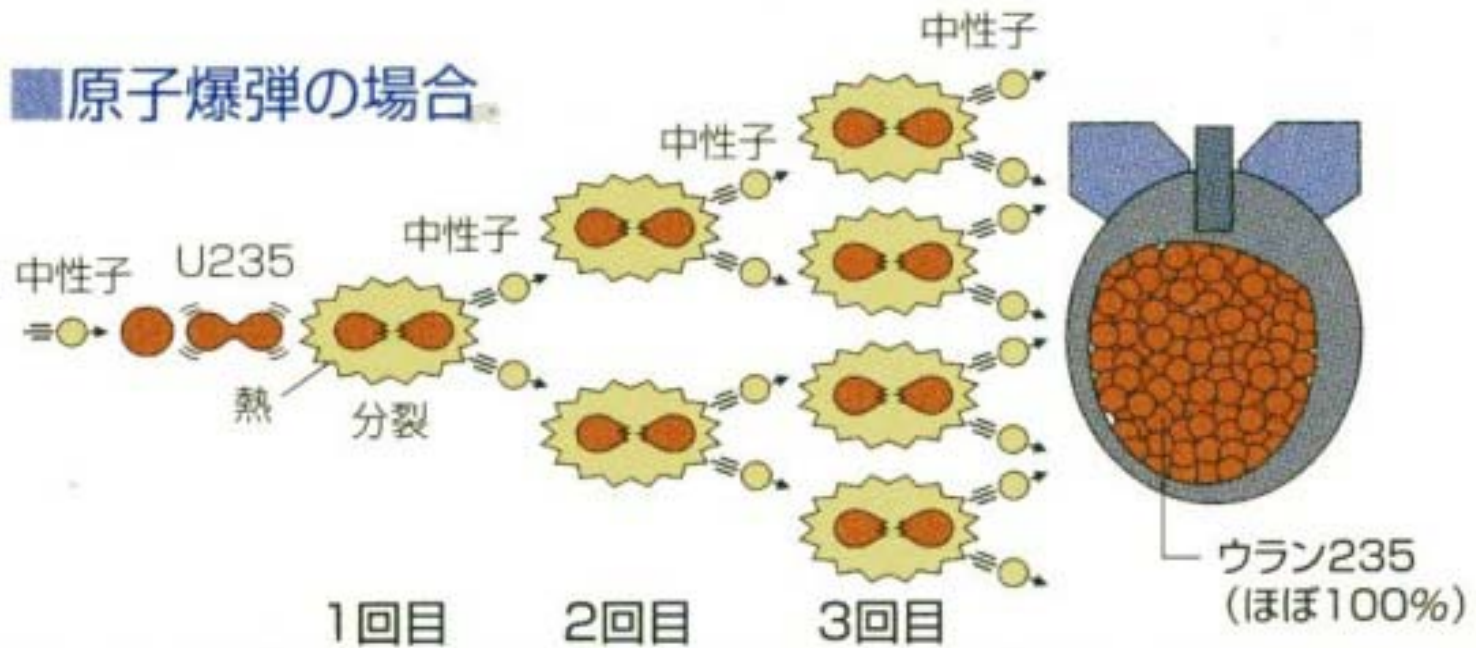
# 放射線被爆

- 原発、ウラン採掘場、核実験場、航空機事故
- ウラン採掘場：カナダ、オーストラリア、ニジェール、カザフスタン、南ア、米国、ナミビア
- 核実験は全世界で2057回、2万8千発の核兵器、(1945年7月が最初)
- 原発は全世界で何基になるのだろうか？

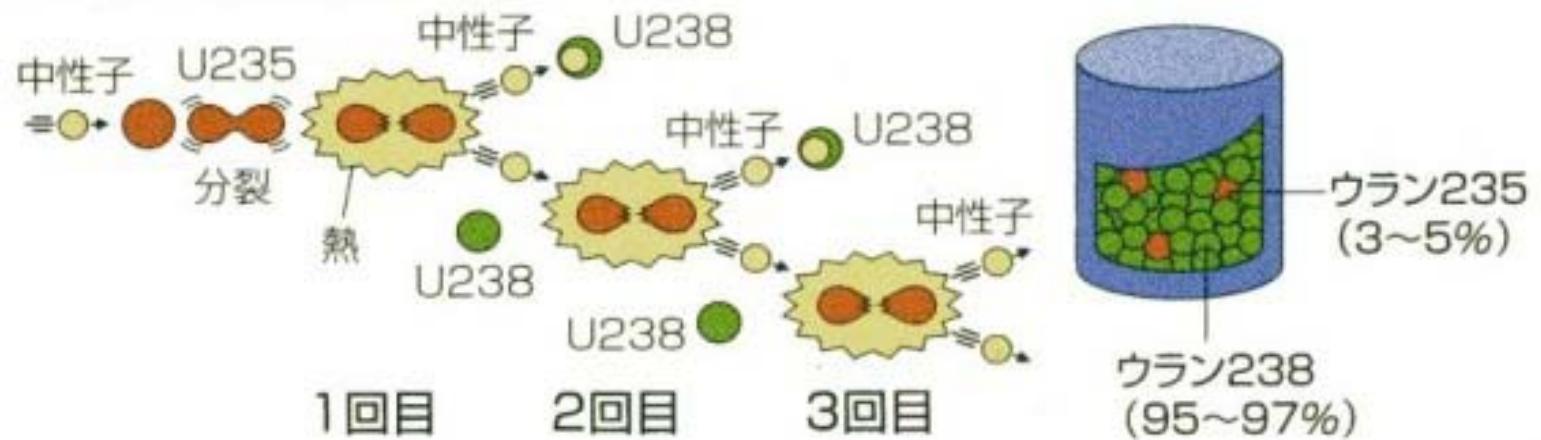
# スウェーデンのウラン鉱床と濃縮

- 1950年から1985年までウラン採掘
- アルム頁岩 (alum shale) が主要ターゲット
- スウェーデン南部のベステルイエートランド郡のランスタッド鉱床で200万トン・1960年代、花崗岩中に小規模な鉱脈が存在
- スウェーデンにはウラン濃縮工場は無い
- 外国へ委託 (Eurodif, Urenco, Tenex)
- 六フッ化ウランの再転換はWH (旧ABBatom)

## ■原子爆弾の場合



## ■原子力発電の場合



# 核実験

- **米国**： マーシャル諸島、ネバダ実験場、太平洋のジョンストン島、クリスマス諸島、アリューシャン列島アムチトカ島、カリフォルニア沖で43回
- **イギリス**：1952 - 1991年、 オーストラリア、南太平洋のモールドン島、クリスマス島で45回、先住民族アボリジニの被害不明
- **フランス**：1960年－1996年、 アルジェリアのサハラ砂漠で17回、トアレグ遊牧民の被害不明
- **中国**：1964年－1996年、ウイグル地区のロプ・ノールで45回、ウイグル人に肝臓がん、肺がん、皮膚がん
- **インド**：1974 - 1998年、ラジエスタン州タール砂漠で6回
- **パキスタン**：1998年、バルチスタン州チャガイ丘陵6回

# 旧ソ連の核実験被害

- 1949年から1996年まで700回以上
- カザフスタンのセミパランチスク実験場
- 西カザフ実験場
- シベリアのノバヤ・ゼムリヤ島
- 711町村の120 - 150万人被ばく
- 白血病、再生不良性貧血、精神障害
- 特に子供は深刻、生まれてくる3人に一人が心身障害



# 北極圏の核被害 1 (北緯66.3+)

- ツンドラ地帯のトナカイ放牧する民族、チュクチュ族、コミ族、ネネツ族、サーミ族
- 放射線はコケ(苔)を汚染する。汚染されたコケを食べるトナカイを主食とする先住民族に、喉頭がん、甲状腺がん、腎臓がん
- 白海、バレンツ海に生息するアザラシやセイウチなど海洋生物に白血病発症

# スウェーデンの放射線被害 2

- チェルノブイリ後、ファールアウトの5%がスウェーデンに降下。
- セシウム137が土壌に残存
- トナカイの生物内部被爆、1500 Bq,
- サーマ人が50 Kgトナカイの肉を食べると1 mSv  
年間被爆する計算

(チェルノブイリ、520万TBq / 10日間総量, フクシマ77万TBq・数日間)

# チューレの米爆撃機墜落事故

1968年、水爆4個搭載機B52



# その他の航空機事故スペイン・アンダルシア州

- 1966年1月パロマレス村、地中海沿岸
- 水爆4基を搭載した米軍機B52とKC135給油機が上空で衝突、墜落
- 3基の水爆は地上に落下、1基は海底に沈んだ。2個の起爆用火薬が爆発した。
- 破損した水素爆弾からプルトニウムが飛散した。表土中から1700トン回収米国へ
- 2006-8年,20年後、村の調査:  
規制値の40倍の高濃度のプルトニウムが残留し、地下5mまで汚染されていた

# 日本の3回の原水爆被爆

- 1944年 8月 広島原爆
- 1944年 9月 長崎原爆
- 1954年 3月 第五福竜丸
- 広島の1000倍以上 (15メガトン)・昭和29年
- マーシャル諸島のビキニ環礁でアメリカの行った水爆実験、
- 2000 - 3000mシーベルト (ex.福島20mS)
- 南太平洋で855隻の漁船が被爆、
- 200-300Km離れた島民 243人、米観測班28人が被爆
- 23人中 9人が存命中
- 同年9月乗組員一名死亡、急性放射能症
- 米国の危険地域外だった

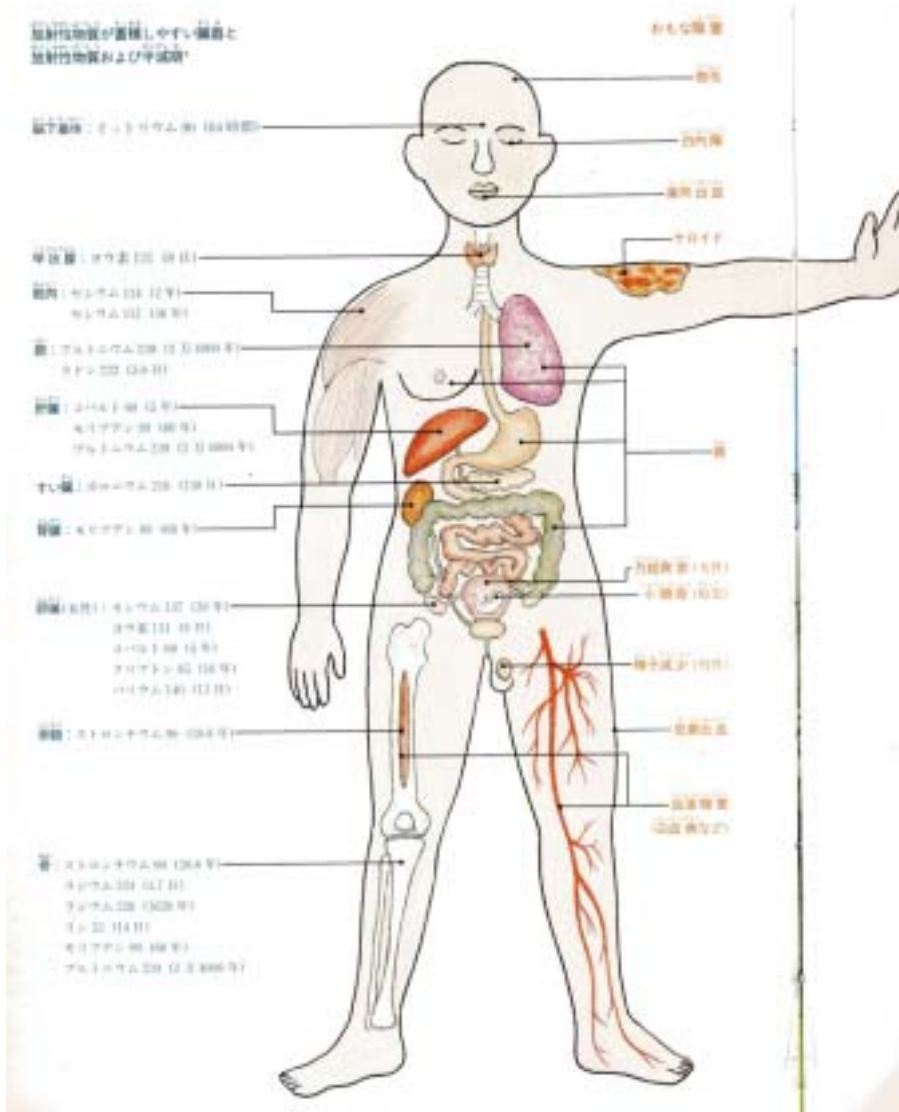
# スリーマイルとチェルノブイリ

- 1979年3月スリーマイル島、ペンシルバニア
- 緊急事態は13日後に解除された。
- 異常な子牛の誕生、バラの花、カエデの葉
- 周辺地域に住む住民の被害者4万人
- 白血病、甲状腺がん
- 1986年4月26チェルノブイリ、ウクライナ
- 18万人が避難、
- 2週間後に放射線放出停止、解除
- ウクライナ、ベルラーシ、ロシア20万平方キロを汚染
- 放射線汚染地帯の住民600万、子供の白血病と甲状腺がん
- ミルク、小麦、野菜、肉を汚染、北半球全土へ(欧州、米加)拡散
- 日本では5月4日に見つかった。WHO、20年間で4千人被爆死亡

# スウェーデンの放射線健康研究

- チェルノブイリ事故によるスウェーデンでの放射性降下物の出生前被爆とその影響
- 胎児期に放射性物質に被ばくした場合、認知能力に変性をきたした。被ばく地域の児童に、特に学校での算数の成績がわるかった。2009, Harvard Univ., MIT, & KI

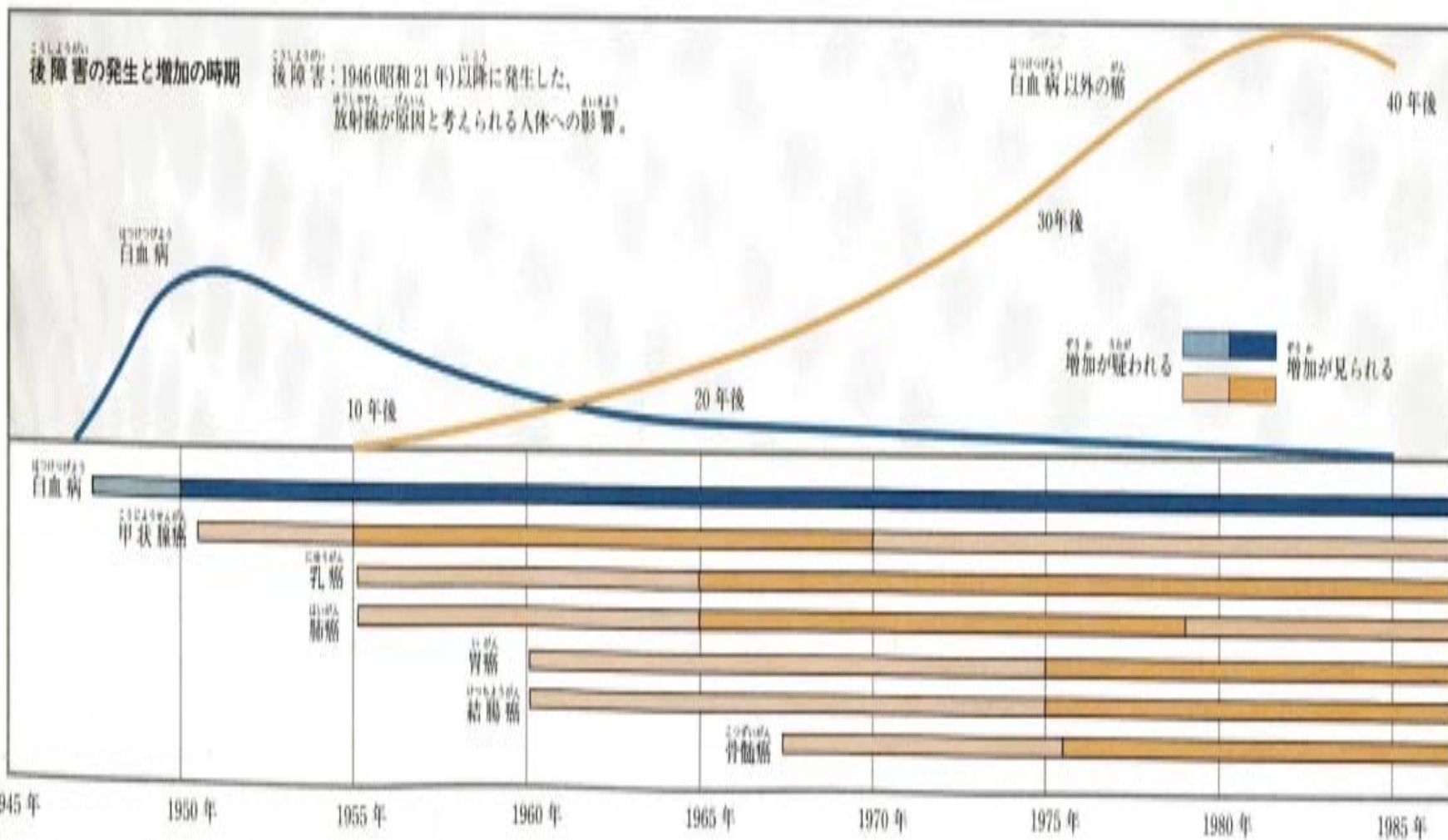
# 放射性物質が蓄積し易い臓器



- 脳下垂体 イットリウム
- 甲状腺 ヨウ素
- 筋肉 セシウム
- 肺 プルトニウム、ラドン
- 肝臓 コバルト、モリブデン、
- すい臓 ポロニウム
- 腎臓 モリブデン
- 卵巣 セシウム、ヨウ素、コバ  
ルト、クリプトン、バリウム
- 骨髄 ストロンチウム
- 骨 ストロンチウム、ラジウム
- 、
- リン、モリブデン、プルト  
ニウム



# 放射線後障害と増加の時期



# スウェーデン放射性安全院

Sweden radiation safety authority

## SSM

- 2007年から開始プログラムでのSSMの役割
- SKB社の最終処分場の安全に責任を持つ
- 3年毎にSKB研究開発プログラムを見直す
- 核燃料処分場の現状と将来予測の確認
- 技術と社会科学の視点でチェックする
- 埋設後はメンテも監視も必要としない前提
- その費用は誰がもつのか？原子力によるエネルギーの消費者、エンド・ユーザー

# 廃棄処分費用負担

- 電気料金に1kwhあたり1オーレを徴収
- 原発廃炉処分、解体、分解費用に充てる
- 最終処分場建設費用にも充てる
- 政府管理の核燃料ファンドnuclear waste fundに納められる
- スウェーデン核廃棄物財政法に定められている, Act on Financing of Residual Products from Nuclear Activities

# SSMスウェーデン放射性安全院 の機構組織

- 長官DG、 Ann-Louise Eksborg
- 1 . 原発安全部 Nuclear Power Plant safety
- 2 . 放射性物質部 Radioactive Material
- 3 . 放射線防護部 Radiation Protection
- 国際協力部
- 広報部

# SSM-1部、原発安全

- 運転と放射線防御
- 原子炉技術と構造的完全性 Reactor technology and structural integrity
- システムアセスメント
- 人間工学組織

# SSM - 2部、放射性物質

- 原発施設の運転と閉鎖
- 核物質の制御と予防
- 核物質の拡散防止
- 放射性廃棄物の処分
- 財政コントロール

# SSM - 3部、放射線防御

- 医療被ばく
- 作業訓練
- 緊急事態準備と対応
- 環境アセスメント

# IAEA国際原子力機関

- 1953年 アイゼンハワー、国連での演
- 1955年国連原子力の平和利用会議
- 1957年ウィーンにIAEA設立
- 初代事務総長は米国のスターリン・コール
- 2代目はスウェーデンのシーグバード・エクランド
- 3代目もスウェーデンのハンス・ブリックス
- 4代目、エジプトのモハメド・エルバラダイ
- 5代目、日本の天野之弥



# 今後の期待される先端技術と 社会システム

超伝導送電  
スーパーグリッド送電  
高圧直流送電  
発電・送電分離  
放射線教育  
地震津波予知研究

# 超伝導ケーブル

- 古川電気工業6月、送る電力量、従来の3倍になる超伝導ケーブル開発に成功
- 住友電気工業、低電圧で大量電流の送電可能な超伝導ケーブル、2020年実用化
- 従来の銅ケーブルは送電で5%ロスし、寿命は40年、近く更新が必要
- - 200度以下に保つ超低温技術
- チャルマース工科大学SQUID

# 超高压直流システム

- 遠隔地の水力発電所から高効率送電
- 現在600kVDCから 800kVDCへ上げる  
Ultra High Voltage DC (UHVDC)システム
- 2009年12月29日,800kV,雲南省と広東省間成功
- 日本では小規模で2例(徳島-和歌山間140万kw海底ケーブル、青森-北海道間 北本連系線60万kw)、世界先進例
- 5,000-8,000MW の大容量電力を1,000-1,500kmの長距離送電するプロジェクトを実用化、スウェーデンABB社

# ABB社の高圧直流送電

- 2006年11月、スウェーデン国内のSTRILABで、855kVの実験で確認、世界各地の事業所で 800kV – HVDC 技術を確立させた。
- 中国State Grid社とスウェーデンABB社は 2007年山狭ダムから上海間2,000kmに 6,400MW をHVDC技術で世界最大成功
- インド・パワーグリッド社とABB社、マルチ 端末800kV UHVDC, North East-Agra世界 最大送電網建設

# 西澤潤一先生

- ミスター半導体
- 発光ダイオードの世界の第一人者
- 光通信の父
  
- エジソン、ベルに続く世界的最高峰
  
- IEEE冠付き賞、西澤メダル

# 静電誘導サイリスタ

## 西澤先生の各講演から

- エジソンの主張した直流送電がウエスティングハウスの交流送電に負けた。1880-90年代の送電論争
- 交流送電の送電距離は200kmまで
- 静電誘導サイリスタで直流を交流へ変換。1987年99%の変換効率達成
- 直流送電ははるかに遠距離を送電可能
- 1万Kmを送電しても電力ロスは15%未満

# 西澤潤一先生とスウェーデンの プロジェクト

- UHVDCのキーテクノロジー：直流－交流  
交換機と静電誘導サイリスタ
- 2006年 日瑞テラヘルツ・プロジェクト  
KTH & CTH
- 2007年 IVAスウェーデン工学アカデミ  
ーで講演
- 2007年 IEEEの表紙を飾る高圧直流送  
電サイリスタ技術・西澤論文

# 危機からの脱出

「学者というのは、人類に対する危機が生じた時には真っ先に警笛を鳴らし、その対策を生み出さねばならない」

西澤潤一先生の言葉から



# 参考文献および図譜

- エネルギーレビュー2005 - 2011
- エネルギー環境を考える、経済産業省
- エネルギー白書、経済産業省
- 地学図解、第一学習社
- Plutonium, Council for Nuclear Fuel Cycle
- 世界の果てが砕け散る、S.Winchester早川書房
- 金属とは何か E.Mサビツキー 講談社
- 生きている地球、上田誠也、岩波書店
- 地球、海と大陸のダイナミズム、上田誠也、NHKライブラリー
- 地球46億年の全史、R.Forty 草思社
- 学会会報、2005 - 2011
- 日本列島の誕生、平朝彦、岩波新書
- 大地動乱の時代、石橋克彦、岩波新書
- 地震災害と地盤・基礎、守屋喜久夫、鹿島出版
- 偏光顕微鏡と岩石鉱物、黒田吉益、共立出版

# 連絡先

スウェーデン・コンサルタント

田村 恵美子

e.tamura@titan.ocn.ne.jp