

福島県内の放射性物質による土壌汚染の実態 -福島土壌汚染計測プロジェクト報告-

薬袋佳孝(武蔵大学人文学部)

9/16/2011



MUSASHI
UNIVERSITY



MUSASHI
UNIVERSITY

南相馬市(2011年6月)





アウトライン

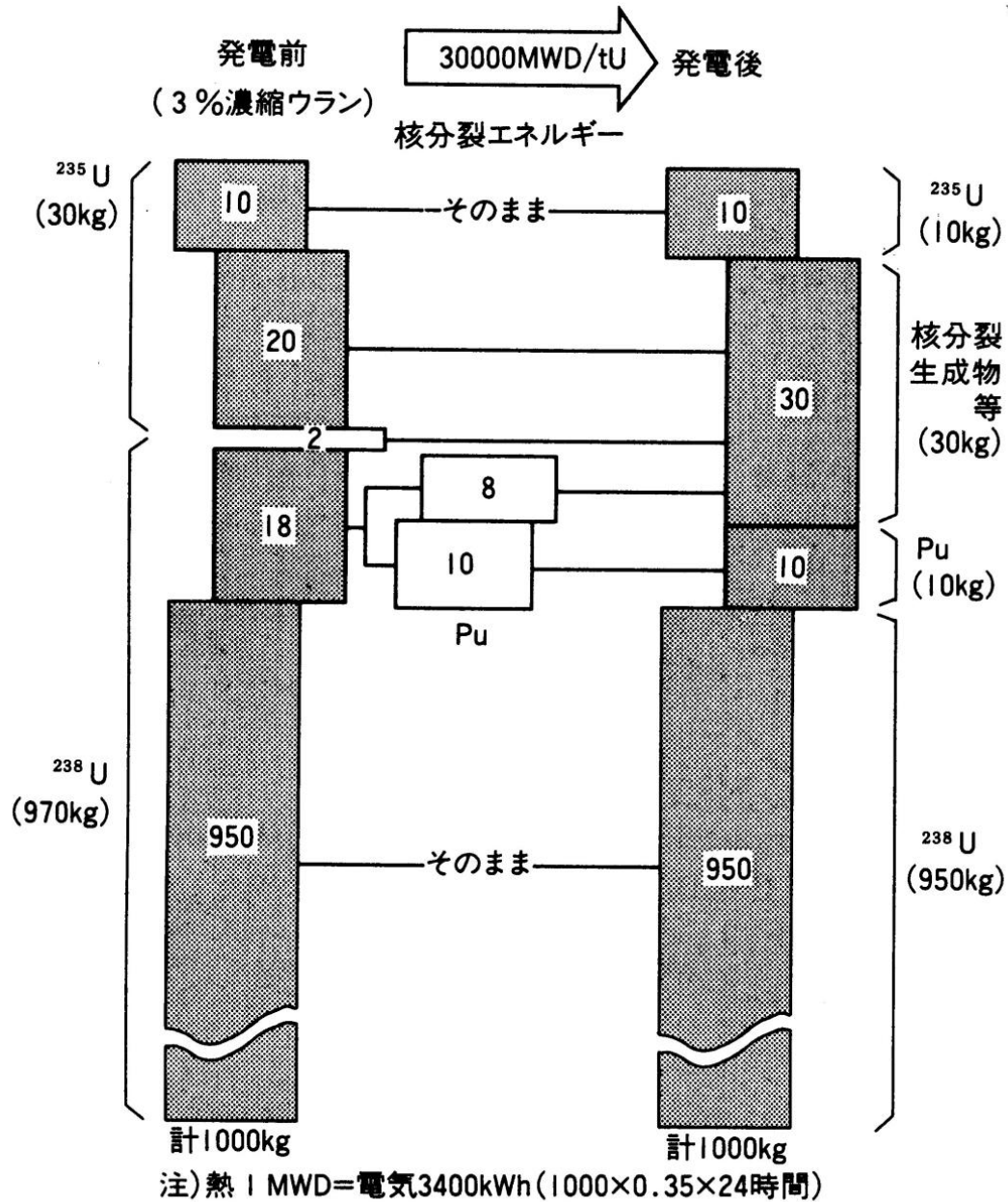
- ⌘ 環境への放射性物質の放出
 - ☒ 原子炉で生成した放射性核種
 - ☒ 過去の放出例との比較
- ⌘ 福島土壌調査プロジェクト
- ⌘ 環境動態の把握と予測
- ⌘ 福島と日本の未来のために
 - ☒ 分析化学が貢献出来ること



MUSASHI
UNIVERSITY

原子炉で生成した放射性核種
過去の放出例との比較

環境への放射性物質の放出

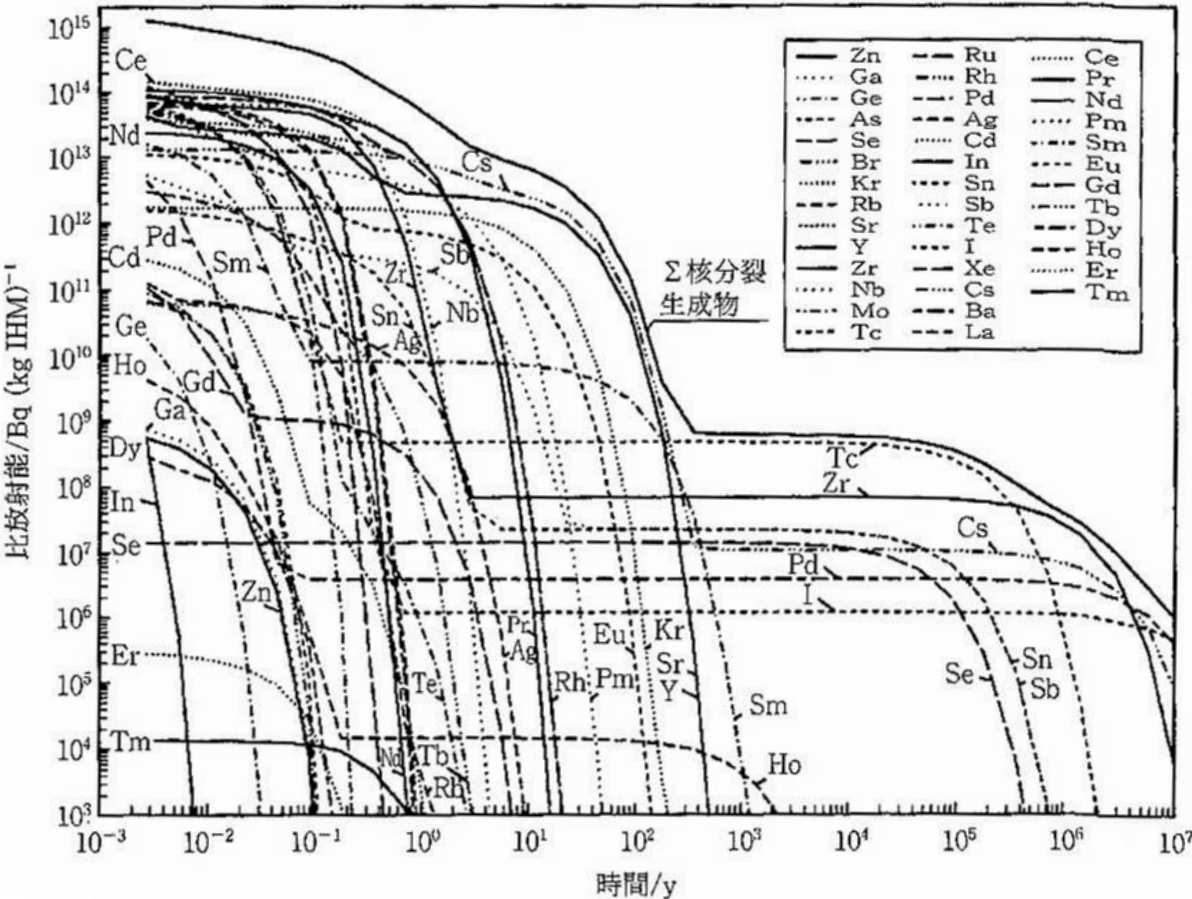


原子力発電による核燃料の変化

2-6 軽水炉内での燃焼によるウラン転換



使用済み核燃料中の放射性核種



10年 > : Xe, Zr, Mo, Nd, Cs, Ru

10 - 10³ 年: ⁹⁰Sr, ⁹⁰Y, ¹³⁷Cs, ^{137m}Ba, ¹⁵¹Sm

少量: Sb, Ce, Eu, Pm, Ru, Rh, Krの同位体

10³ 年 < : ⁹⁹Tc, Pu, その他のアクチノイド

福島第一原子力発電所からの 放出が推定される主な核種

核種	半減期	推定放出量(Bq)
Xe-133	5.243d	1.10E+19
I-131	8.02070d	1.60E+17
Cs-134	2.062y	1.80E+16
Cs-137	30.07y	1.50E+16
Sb-127	3.85d	6.40E+15
Te-129m	33.6d	3.30E+15
Ba-140	12.752d	3.20E+15
Sr-89	50.53d	2.00E+15
Te-127m	109d	1.10E+15
Te-132	3.204d	7.60E+14
I-133	20.8d	6.80E+14
I-135	6.57h	6.30E+14
I-132	1.387h	4.70E+14
Sb-129	4.40h	1.60E+14
Sr-90	28.78y	1.40E+14
Te-131m	30h	9.70E+13



放射性核種の放出例

表 5.4 大気中に放射性核種が大量に放出されたできごと

できごと	国	発生年	放射能/Bq	主要核種
広島, 長崎	日本	1945	4×10^{16}	FP, アクチノイド
大気圏内核実験	米国, 旧ソ連	1963 まで	2×10^{20}	FP, アクチノイド
ウインズケール	英国	1957	1×10^{15}	^{131}I
チェリヤビンスク (キシユテム)	旧ソ連	1957	8×10^{16}	FP ^{90}Sr , ^{137}Cs
ハリスバーグ	米国	1979	1×10^{12}	希ガス, ^{131}I
チェルノブイリ	旧ソ連	1986	2×10^{18}	^{137}Cs

FP：核分裂生成物.



フォールアウト

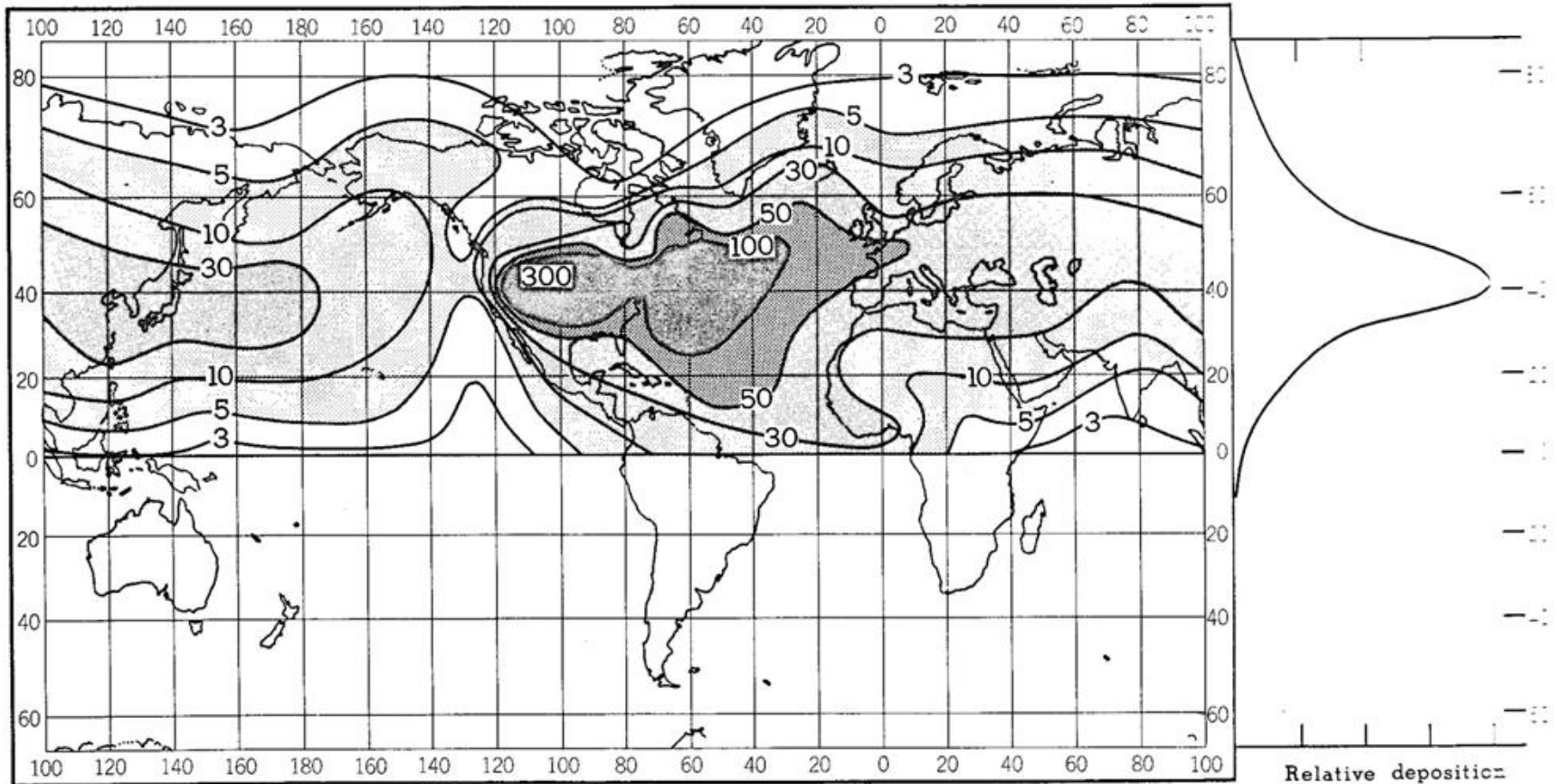


FIGURE 9-15 Worldwide radioactive fallout from nuclear weapons tests in Nevada in 1953. The explosions were in the kiloton range of yields, and debris was confined to the troposphere. The intensity of fallout is shown in relative units. [Reprinted with permission from Machta, L., List, R. J., and Hubert, L. F. (1956). World-wide travel of atomic debris. *Science* **124**, 474-477. Copyright 1956 American Association for the Advancement of Science.]

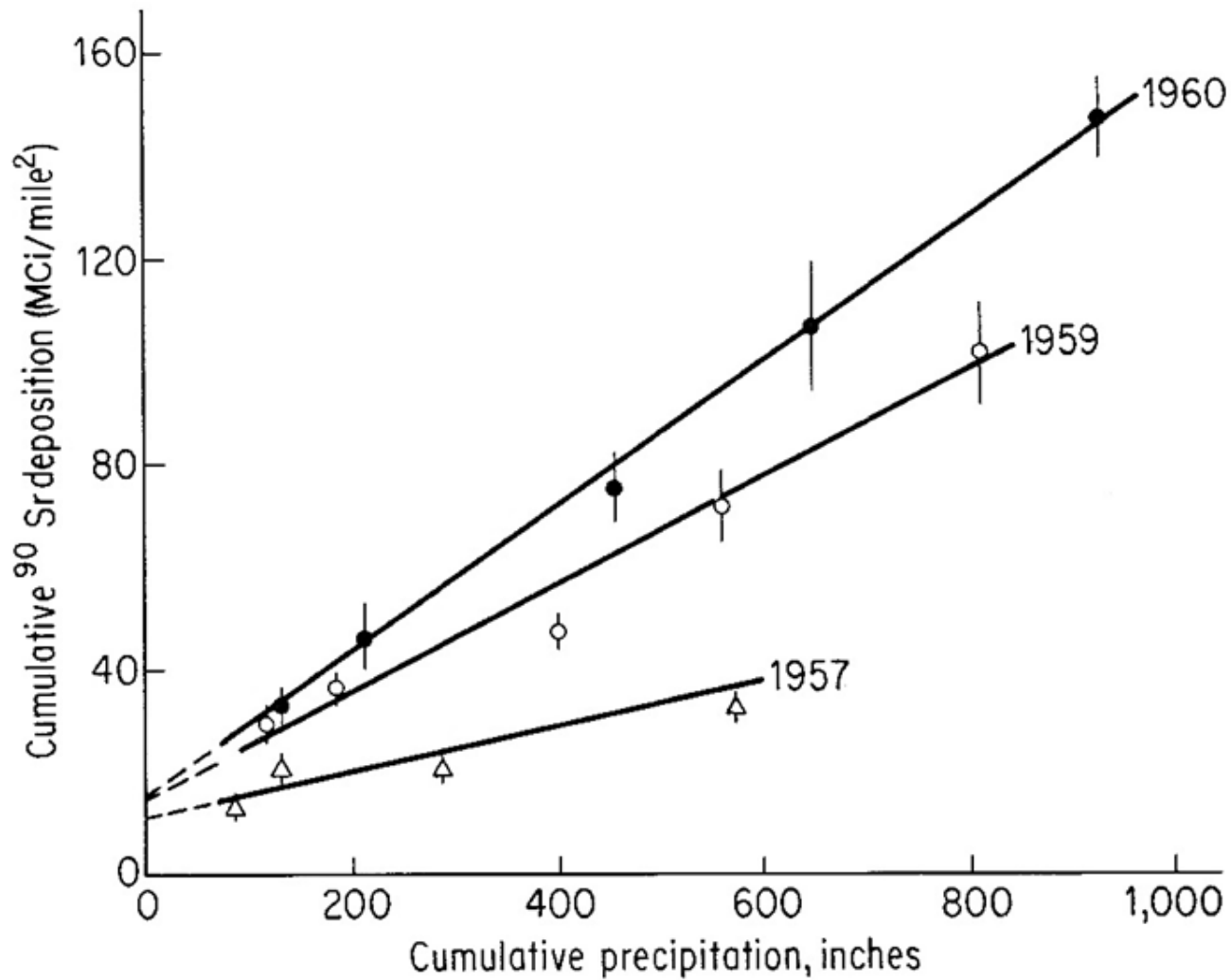


FIGURE 9-21 Dependence of fallout on precipitation on the Olympic Peninsula, Washington. [Reprinted from Hardy and Alexander (1962). Rainfall and deposition of strontium-90 in Callam County, Washington. *Science* **136**, 881–882. Copyright 1962 American Association for the Advancement of Science.]

Chernobyl

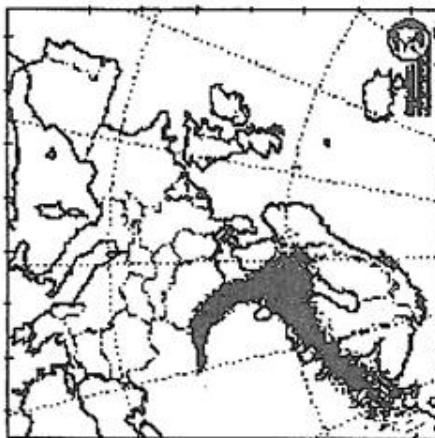


MUSASHI
UNIVERSITY

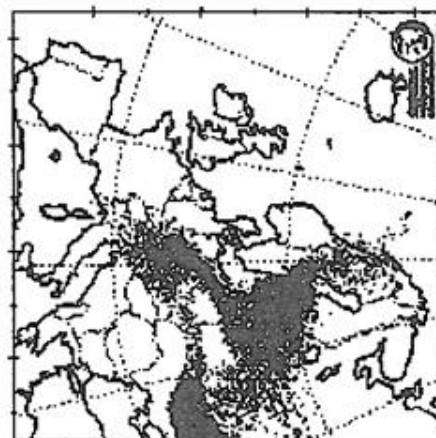
1986. 4. 26



1986. 4. 28



1986. 4. 30



1986. 5. 6

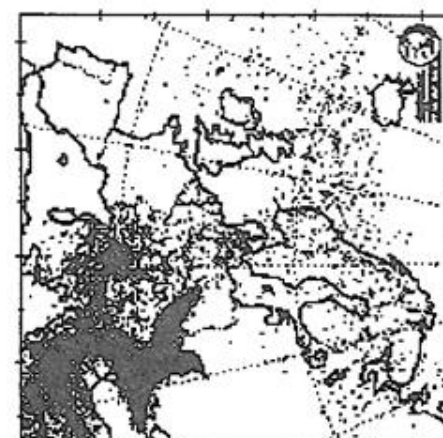


図 7-12 チェルノブイリ発電所より放出された放射性物質(主に放射性ヨウ素)の拡がり
OECD/NEA 経済協力開発機構/原子力エネルギー機関の Web 上に公開されている報告書から引用。

報告書題目は CHERNOBYL : Assessment of Radiological and Health Impacts.

(<http://www.nea.fr/html/rp/reports/2003/nea3508-chernobyl.pdf>)



TABLE 12-6

Comparison of Estimates Made in 1986 and
1995 of Principal Dose-Producing
Radionuclides Released from Chernobyl^a

Nuclide	Activity released (PBq)	
	1986 estimate	1995 estimate
¹³³ Xe	1665	6500
¹³¹ I	270	1760
¹³⁷ Cs	37	54
⁹⁰ Sr	8	10
²³⁹ Pu	0.025	0.042

^aThe 1986 data are from IAEA (1986), and the 1995 data are condensed from OECD (1995).



MUSASHI
UNIVERSITY

福島土壌調査プロジェクト

福島県の土壌及び植物試料の分析例(4/15, 文部科学省発表)

表 土壌及び植物試料*1の分析結果一覧

試料名	地点番号 または 採取地	採取日	^{131}I	^{134}Cs	^{137}Cs	^{89}Sr	^{90}Sr	単位
陸土	31* ²	3月17日	30,000	2,300	2,300	13	3.3	Bq/kg湿土
陸土	32* ²	3月16日	100,000	20,000	19,000	81	9.4	Bq/kg湿土
陸土	33* ³	3月16日	160,000	52,000	51,000	260	32	Bq/kg湿土
植物	大玉村	3月19日	43,000	89,000	90,000	61	5.9	Bq/kg生
植物	本宮市	3月19日	21,000	57,000	57,000	28	3.7	Bq/kg生
植物	小野町	3月19日	22,000	12,000	12,000	12	1.8	Bq/kg生
植物	西郷村	3月19日	12,000	25,000	25,000	15	3.8	Bq/kg生

*1 植物は福島県から提供された。

*2 浪江町

*3 飯舘村

20-30km圏内のPu(文部科学省4/12/2011発表)



MUSASHI
UNIVERSITY

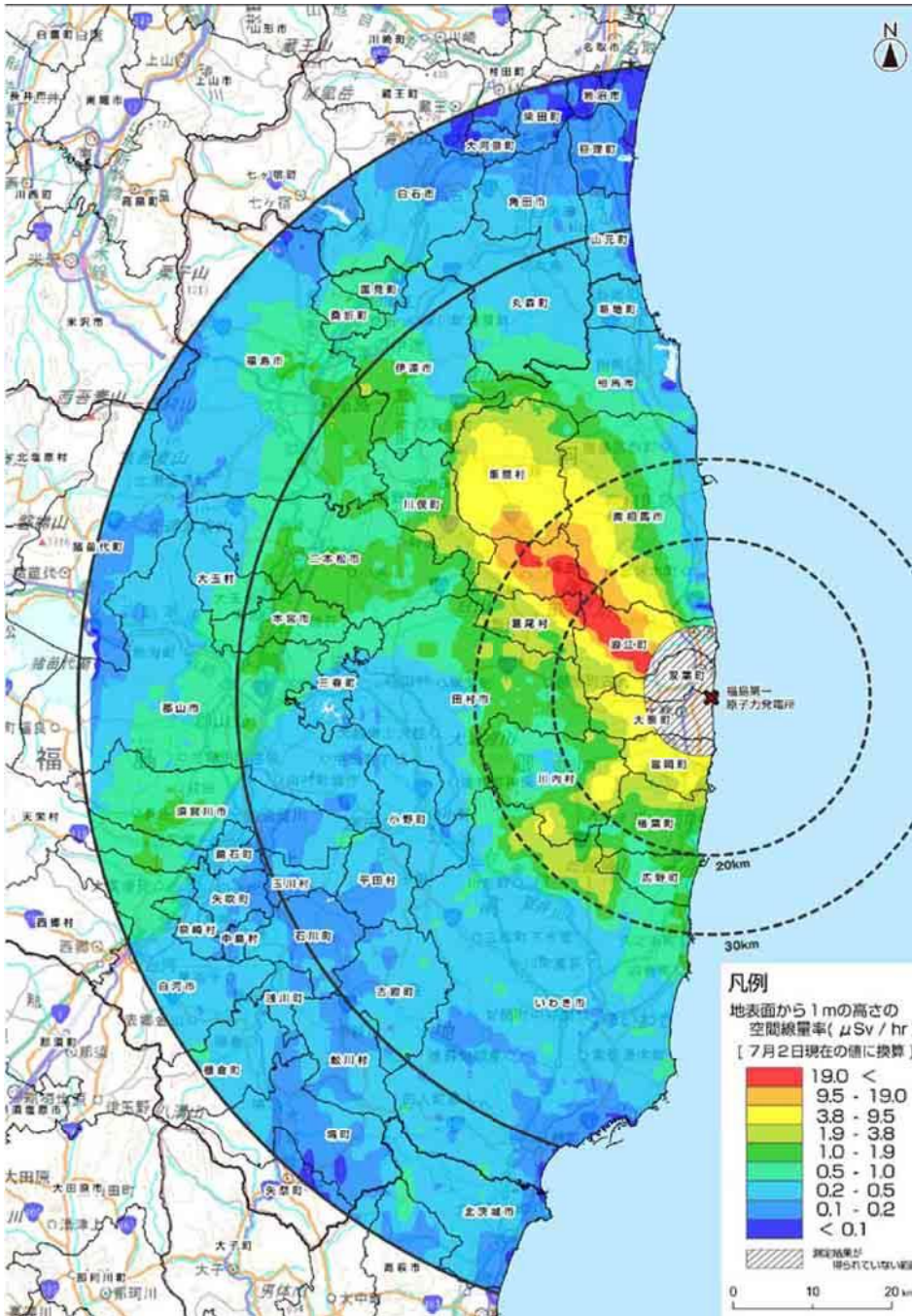
採取場所□	採取日□	空間放射□ 線量率□ [μ Sv/h]□	Pu-238□ [Bq/kg]□	Pu-239+240□ [Bq/kg]□
田村市□	3月22日□ 12:15頃□	6.40□	検出されず□ (0.0051 \pm 0.0023)□	過去の大気圏内核実験によるものを検出□ 0.013□ \pm 0.0037□
いわき市□	3月21日□ 12:15頃□	7.99□	検出されず□ (0.0051 \pm 0.0021)□	検出されず□ (0.0047 \pm 0.0021)□
広野町□ 北部□	3月21日□ 13:35頃□	10.1□	検出されず□ (0.00048 \pm 0.0011)	検出されず□ (0.0024 \pm 0.0017)□
広野町□ 西部□	3月21日□ 14:00頃□	19.5□	検出されず□ (0.0019 \pm 0.0014)□	検出されず□ (0.0024 \pm 0.0017)□

文部科学省による航空機モニタリングの結果
(福島第一原子力発電所から80km圏内の線量測定マップ)



MUSASHI
UNIVERSITY

文部科学省航空機モニタリングデータ(5/31-7/2)





土壌調査の概要

○採取日

第1期6月6日～6月14日

第2期6月27日～7月8日

○土壌採取

全国の大学(大阪大学, 筑波大学, 東京大学が中核)

(独)日本原子力研究開発機構など

○核種分析: 21機関, 340名

(財)日本分析センター及び東京大学他19機関

○分析対象

地表面に沈着した単位面積あたりの ^{134}Cs , ^{137}Cs 濃度



土壌の採取

- 100km圏内を中心に2200カ所
 - 80km圏は2kmメッシュ, 圏外は10kmメッシュ
- 3m × 3m の範囲で5 地点程度選定。等間隔に採取。
- U8容器を用いて、地表面から5cmの深さまで土壌を採取。
- 採取土壌は良く攪拌した後に、U8容器に封入。
- 雑草などの植生は根系層もあわせて試料とした。
- 土壌試料採取容器表面の線量当量率を測定。

南相馬市(2011年6月)



MUSASHI
UNIVERSITY





試料採取手順

目的: 表層5cm深までの土壌を効率良く採取する

用意する道具:

- ・U-8容器
- ・使い捨てのプラスチックナイフ
- ・使い捨ておしぼり
- ・マジックペン
- ・ジップロック



手順:

1. U-8容器を土壌に差し込む
(印を付けたところまで土壌がくるように注意して差し込む)



2. ショベルでU-8容器を周辺の土壌ごと掘り出す



3. U-8容器をひっくり返し、余分な土壌をナイフでそぎ取る



4. U-8容器内の土壌を袋に開け十分攪拌したのち、U8容器に戻し、ふたをする (土壌をこぼさないように慎重に)

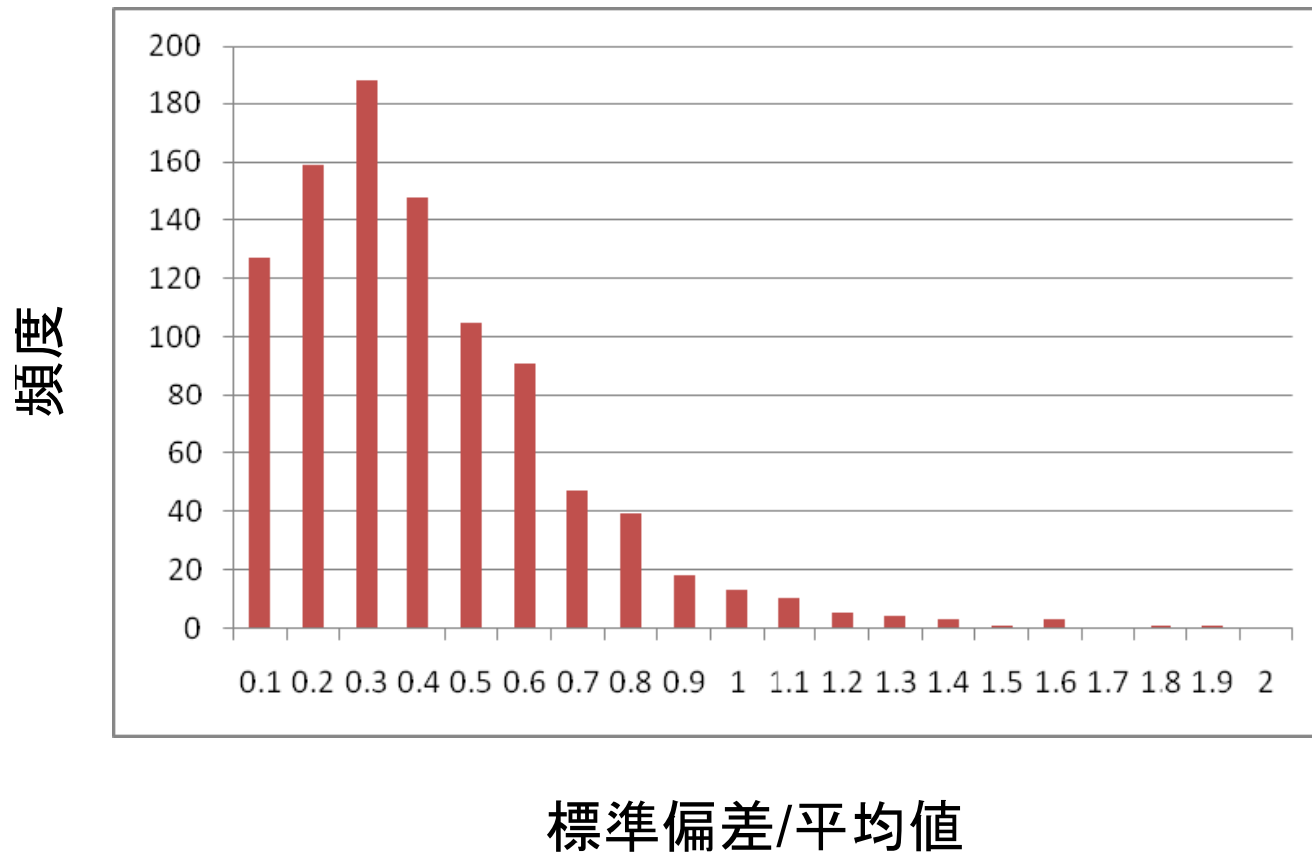


5. U-8容器の外側に付着した土壌をよく拭き取り、袋に入れる





同一箇所では採取された**5**試料間での核種分析 結果のばらつき(文部科学省, **8月30日**発表)





放射能測定

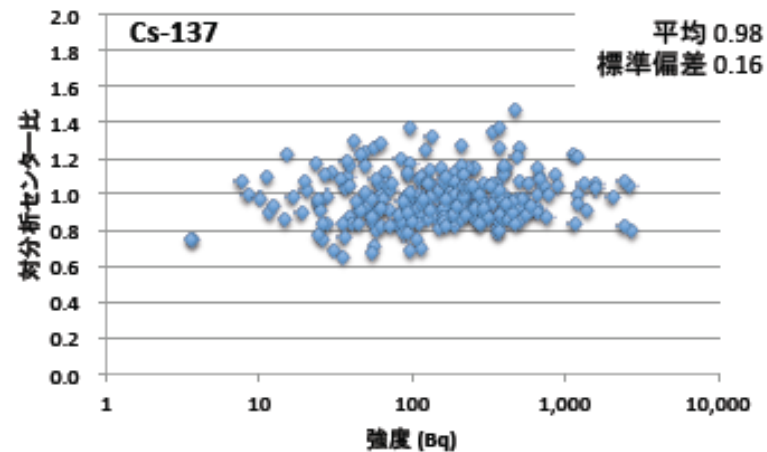
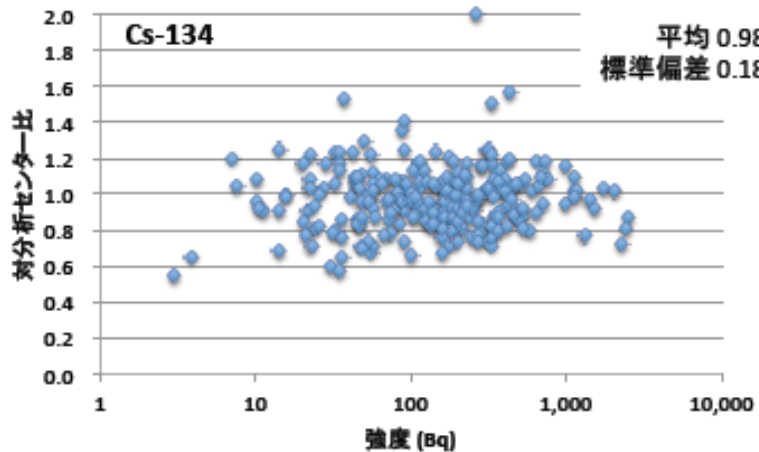
- ゲルマニウム半導体検出器(Ge検出器)による γ 線スペクトル測定: ^{131}I , ^{134}Cs , ^{137}Cs
- 標準線源で校正(エネルギー軸および光電ピーク強度)
- 測定時間は最長1時間
- 総試料数の3%の試料について、日本分析センターと他の機関、東京大学と他の機関とで、同一試料を測定
- 土壌採取地点の一部ではゲルマニウム半導体検出器を用いた in-situ 測定

分析結果の相互比較 (文部科学省, 8月30日発表)

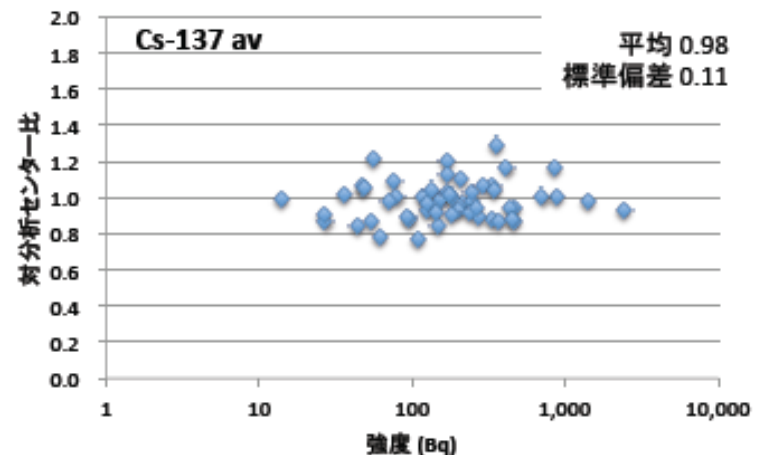
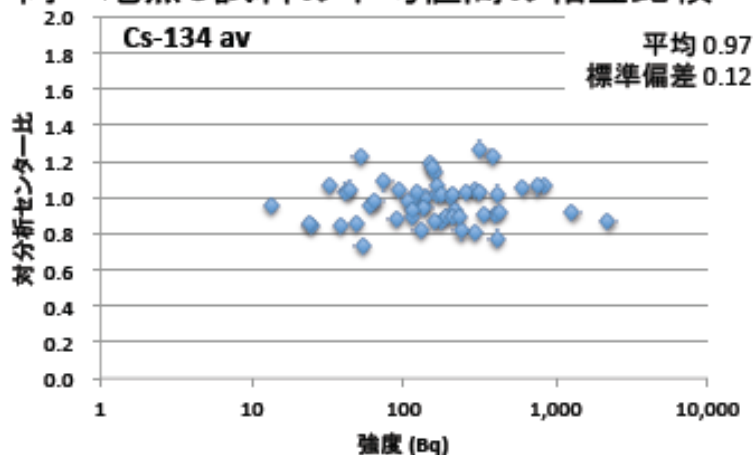


MUSASHI
UNIVERSITY

分析センターと各大学、東大と各大学で同一試料を測定 (275試料を比較)



同一地点5試料の平均値間の相互比較



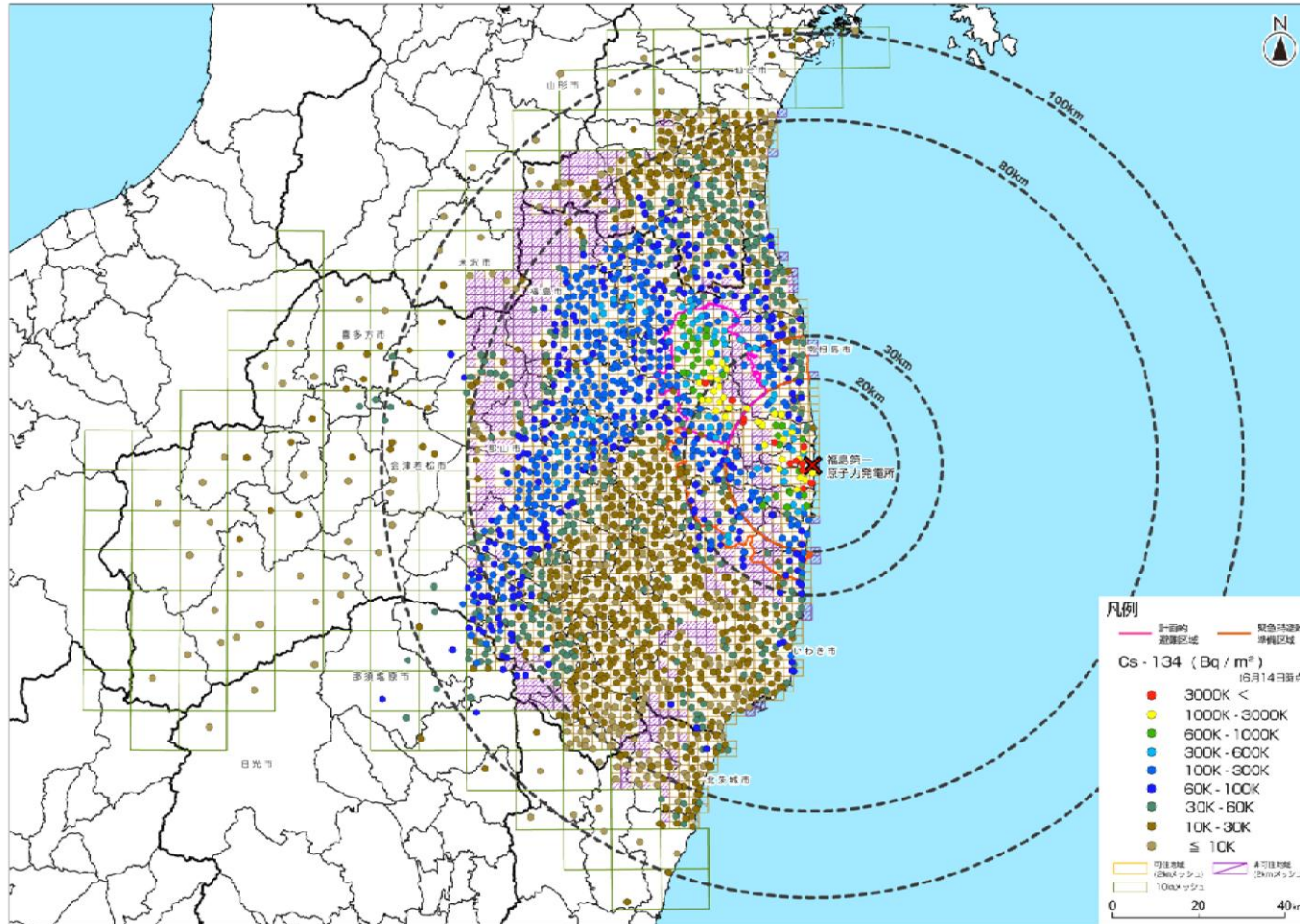
土壤中の ^{134}Cs の分布 (文部科学省, 8月30日発表)



MUSASHI
UNIVERSITY

セシウム134の土壤濃度マップ

別紙4-1



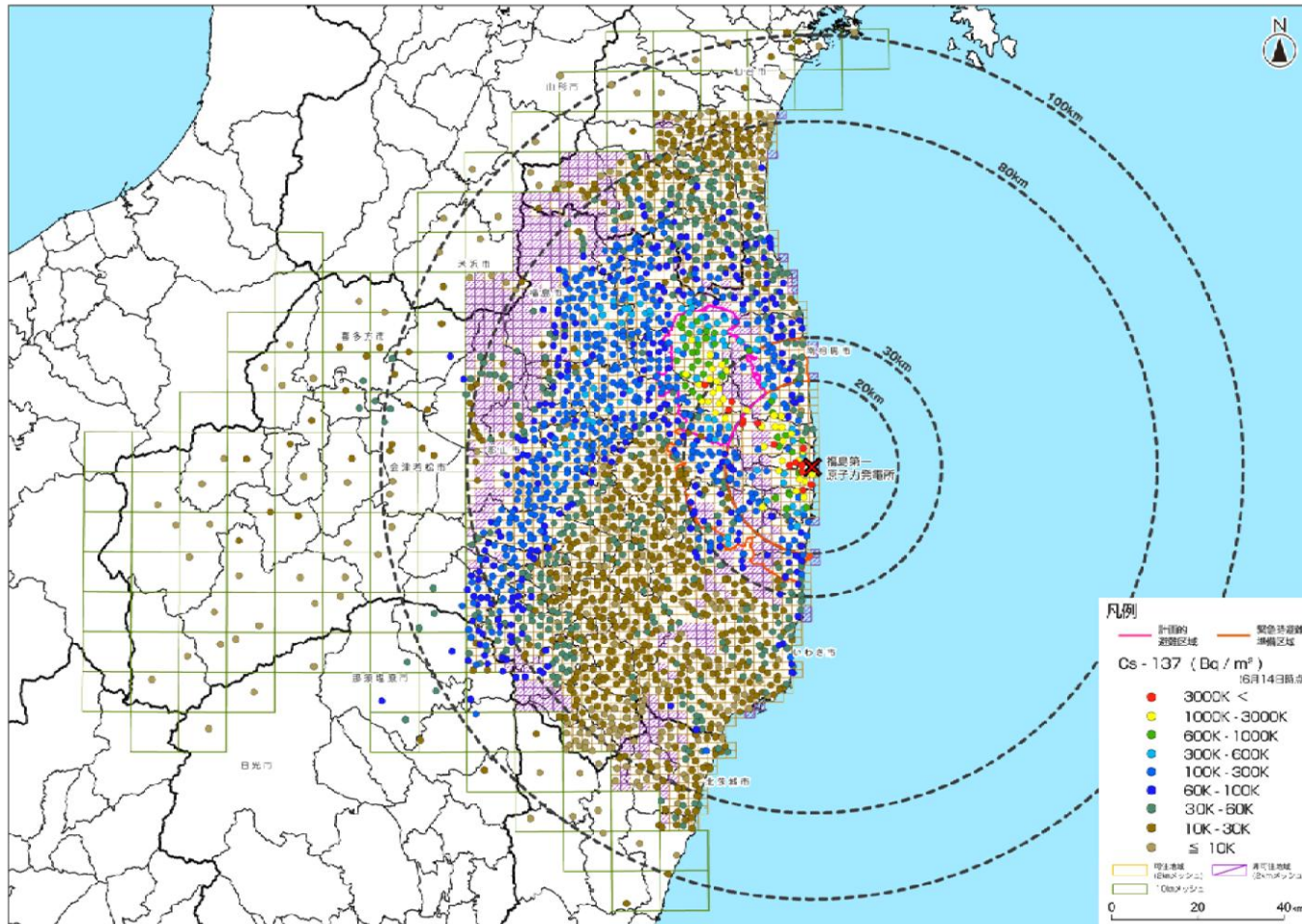
土壤中の ^{137}Cs の分布 (文部科学省, 8月30日発表)



MUSASHI
UNIVERSITY

セシウム137の土壤濃度マップ

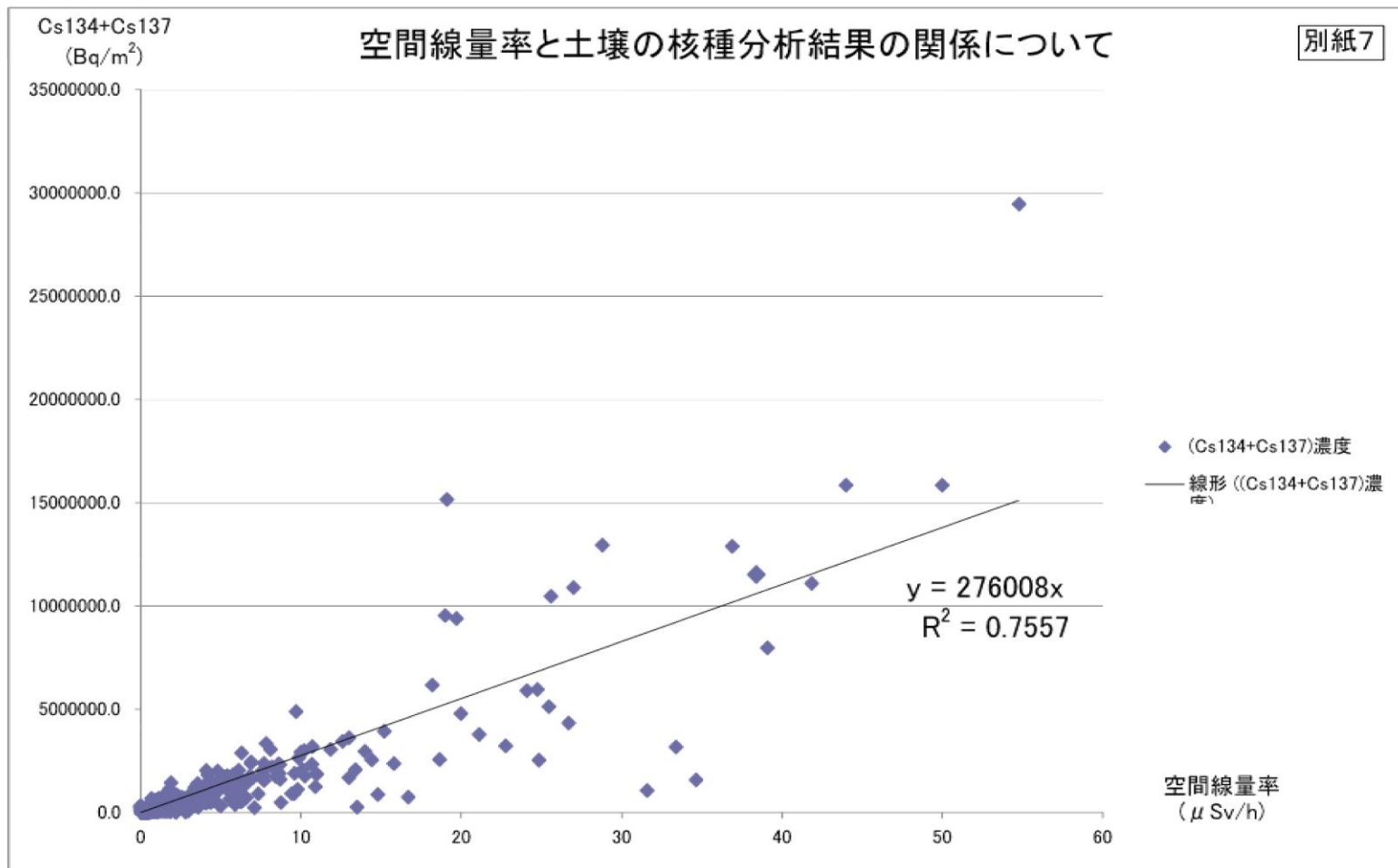
別紙4-2



空間線量率と放射性核種濃度 (文部科学省, 8月30日発表)



MUSASHI
UNIVERSITY





MUSASHI
UNIVERSITY

環境動態の把握と予測



環境動態に関するファクター

□ 化学的要因

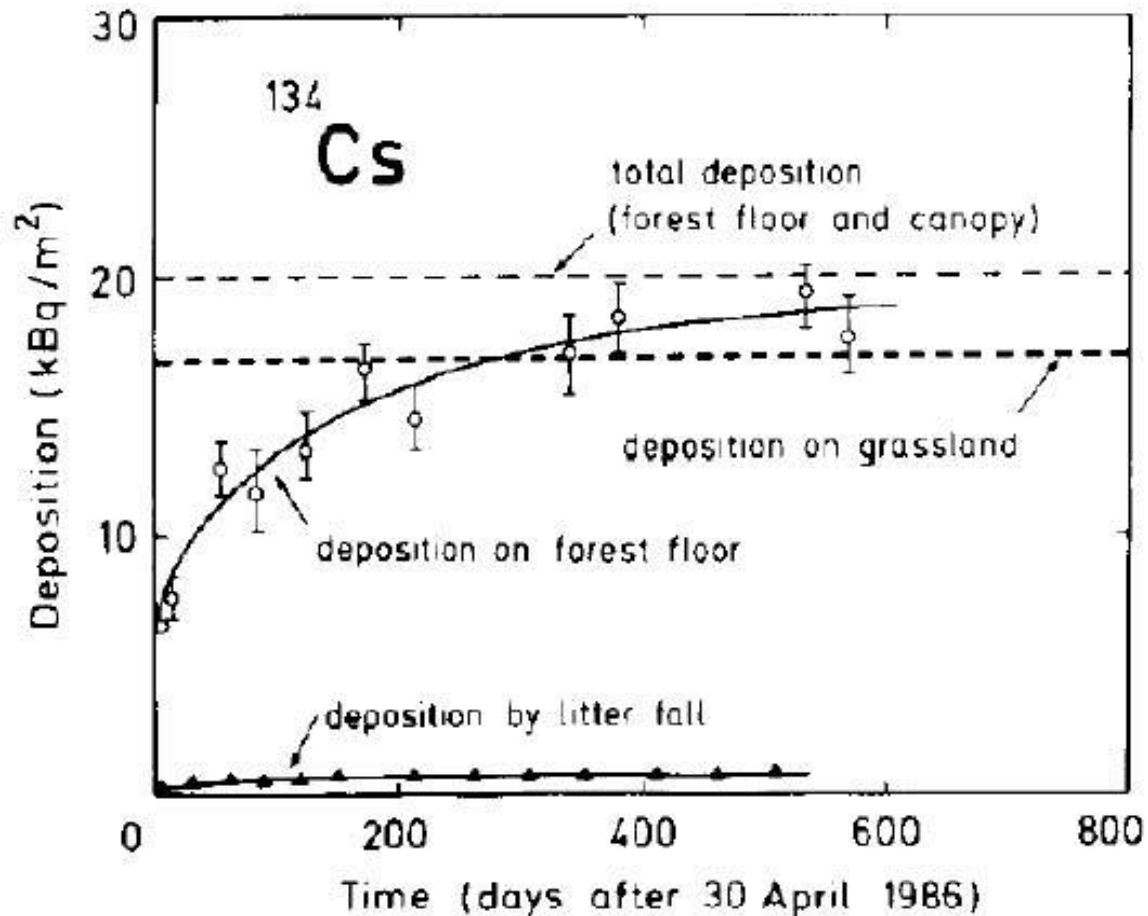
- 生成プロセス(汚染源の状況)
- 化学的性質(化学的形態に依存)
- 物質移動(流体としての大気・水の循環)
- 生物濃縮

□ 放射性核種に特有な要因

- 外部被曝の存在
- 半減期
- 放射線の線質

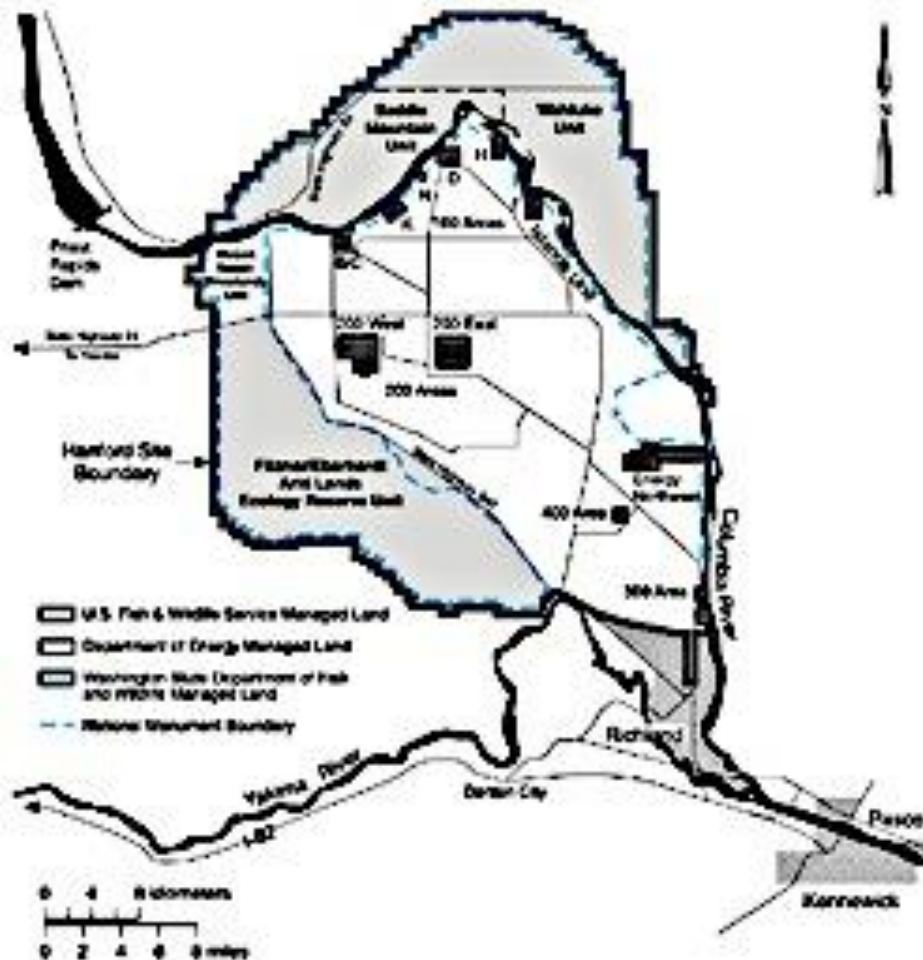


チェルノブイリ: ^{134}Cs の沈着





Hanford Site



- 米国ワシントン州東南部
- 1942 マンハッタン計画でプルトニウム製造施設として設置
- 1945
 - 原子炉3基
 - プルトニウム処理施設3施設
- 1963
 - 原子炉9基
 - プルトニウム処理施設5施設





Hanfordの放射性核種分布

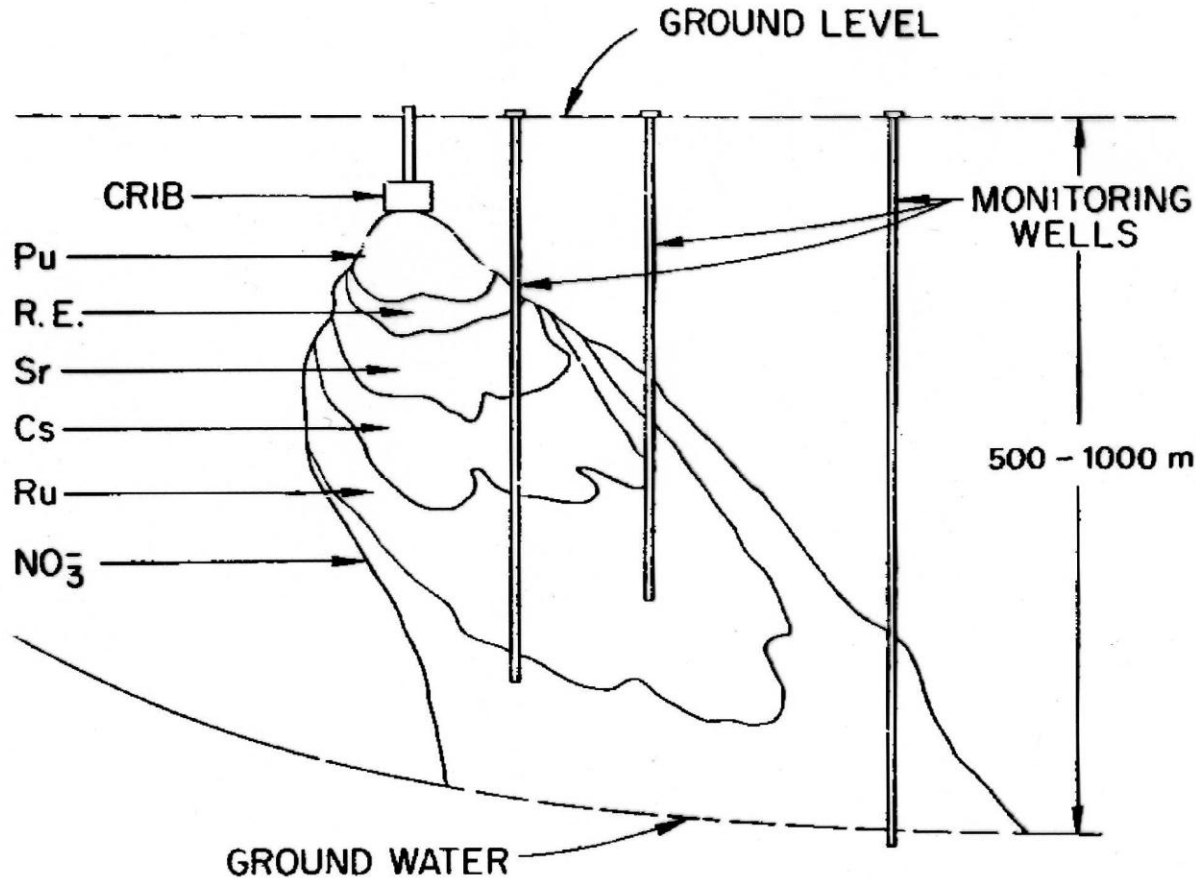


FIG. 20.20. Distribution of radioactive waste products leaking into the soil at Hanford, USA. The soil consists of ion exchanging clay covered by sandy gravel.



水相への移行の度合い

$Sr \gg I > Ba > Cs, Ru > Ce > Y, Pm, Zr, Nb > Pu$



放射線被曝の分類

⌘ 線量による区分

- ☑ 高線量被曝
- ☑ 低線量被曝

⌘ 線質による区分

- ☑ 高LET放射線被曝
 - ☒ α線, 中性子線など
- ☑ 低LET放射線被曝
 - ☒ β線, γ線, X線

⌘ 被曝様態による区分

- ☑ 外部被曝
- ☑ 内部被曝
 - ☒ 吸入(経気), 経口, 経皮

⌘ 障害の発生時期

- ☑ 急性障害
- ☑ 晩発障害



実効半減期の例

核種	主な放射線	集積部位	物理的半減期	実効半減期
^3H	β	体組織	12.35 y	12 d
^{90}Sr	β	骨	29.1 y	6000 d
^{99}Tc	β	大腸下部	2.1×10^5 y	0.75 d
^{131}I	β, γ	甲状腺	8.04 d	7.6 d
^{137}Cs	β, γ	全身	30.0 y	70 d
^{226}Ra	α, γ	骨	1600 y	16000 d
^{238}U	α, γ	肺, 腎臓	4.5×10^9 y	15 d
^{239}Pu	α, γ	骨	24065 y	72000 d

Strontium-90 accumulation in vertebrae



MUSASHI
UNIVERSITY

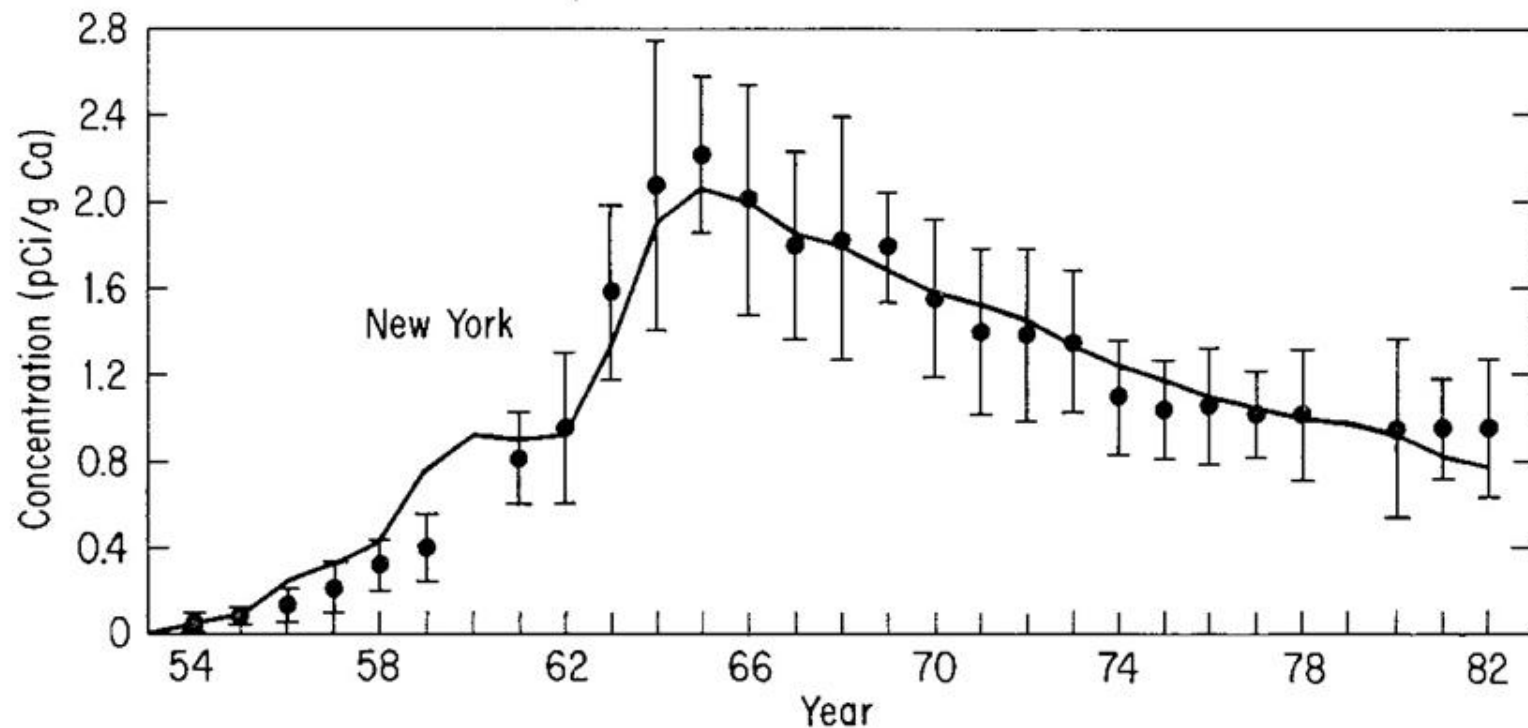


FIGURE 9-24 Predicted and observed ^{90}Sr in adult vertebrae in New York City, 1954–1982. [From Klusek (1984b).]



MUSASHI
UNIVERSITY

分析化学が貢献出来ること

福島と日本の未来のために



環境動態の把握のための方法論

⌘ 放射性核種の分布の把握: 多数試料を対象

☒ $^{137}\text{Cs} + ^{134}\text{Cs}$ は物理計測でルーチン分析可能

☒ 他の重要核種の分析 (γ 線計測が不適な場合)

☒ ^{90}Sr 骨に濃縮, 実効半減期が長い

☒ ^{99}Tc TcO_4^- として存在. 吸着されにくく, 水とともに移動

☒ アクチノイド元素の核種 α 線放出核種が多い

- U, Pu, Am, Np, Cm

⌘ 放射性核種の存在形態の把握

☒ 化学形・空間分布・環境構成物質との相互作用



環境動態の予測

⌘ 実験によるアプローチ

⊡ 環境で起こり得る反応の基礎データ

⊡ 環境条件を模擬した実験

⊡ 地下水・表流水への移行

⊡ 汚染土壌などの処理の効果の評価

⊡ 汚染土壌などの処分の環境の安全性評価

⌘ 汚染土壌などのキャラクタリゼーション

⊡ 農地(水田・畑)・山林・都市環境