放射性物質の農地等における移動・循環問題

～食の安全と環境～

独立行政法人　放射線医学総合研究所
内田　滋夫（専門：環境放射能）

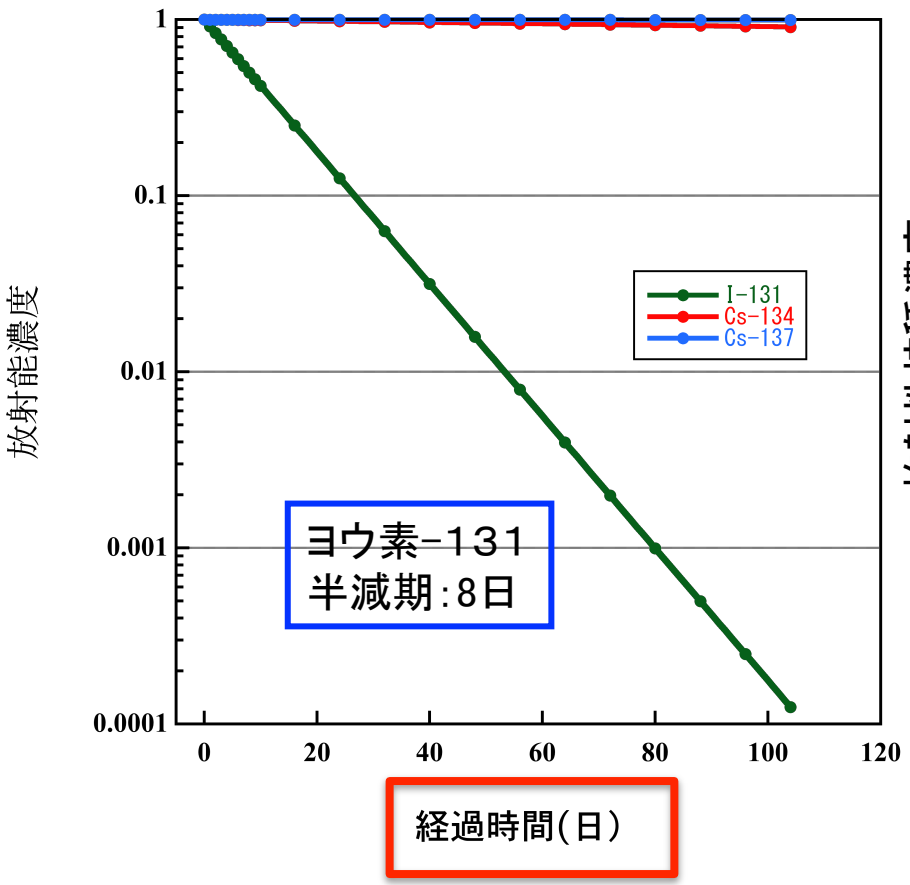
今日の話の内容

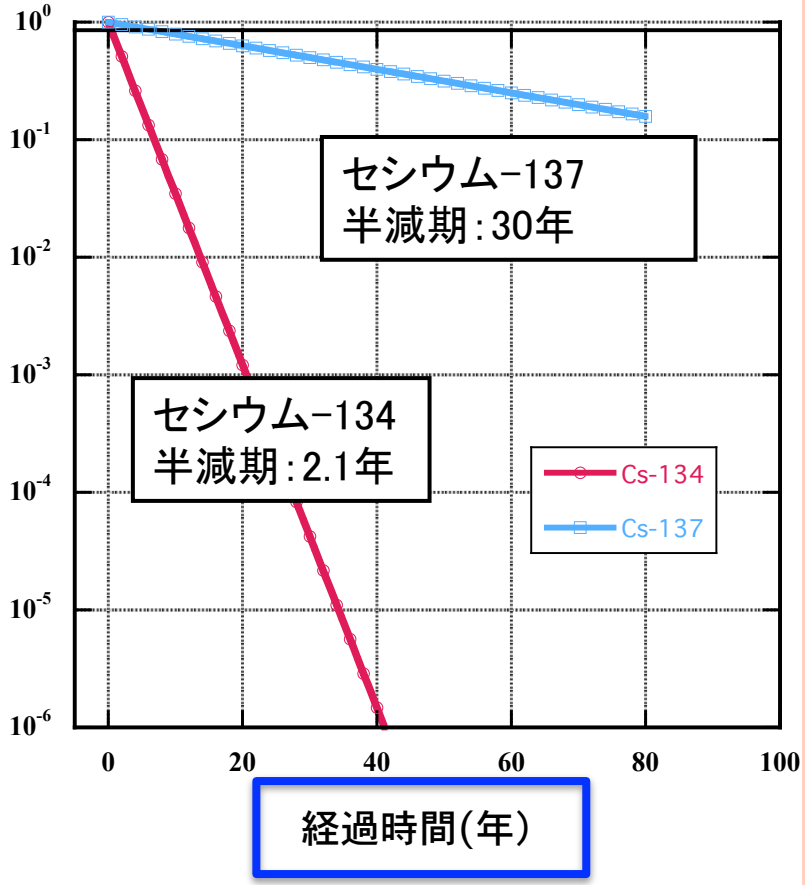
1. 放射線の単位と半減期
2. 天然放射性核種・人工放射性核種
3. チェルノブイリ原発事故と福島原発事故
4. 福島原発由来の放射性核種
5. 農作物への移行
6. 放射能汚染：水と食料の安全
7. 今後の問題点
   -未来に向けて私たちはどうしたら良いのか-

１．放射線の単位と半減期

- 単位：１ベクレル（Bq）とは１秒間に出る放射線の数が１個のこと。ある物質１キログラムから毎秒100個の放射線が出ることを「100 Bq/kg」で表す。
- 半減期とは、ある放射性核種が、たとえば100個あったら、50個、つまり半分になるのに必要な時間。半減期が10回くると、放射能は、ほぼ千分の一に。

放射性核種の半減期


放射能濃度
1
0.1
0.01
0.001
0.0001
0
20
40
60
80
100
120
I-131
Cs-134
Cs-137
ヨウ素−131
半減期：8日
経過時間(日)


放射性核種濃度
10^{0}
10^{-1}
10^{-2}
10^{-3}
10^{-4}
10^{-5}
10^{-6}
0
20
40
60
80
100
セシウム−137
半減期：30年
セシウム−134
半減期：2.1年
Cs-134
Cs-137
経過時間(年)

２．　天然放射性核種・人工放射性核種

天然にもともと存在する放射性核種

地球起源放射性核種

- **地球創世時から存在する長寿命の放射性核種**

（地球起源放射性核種）

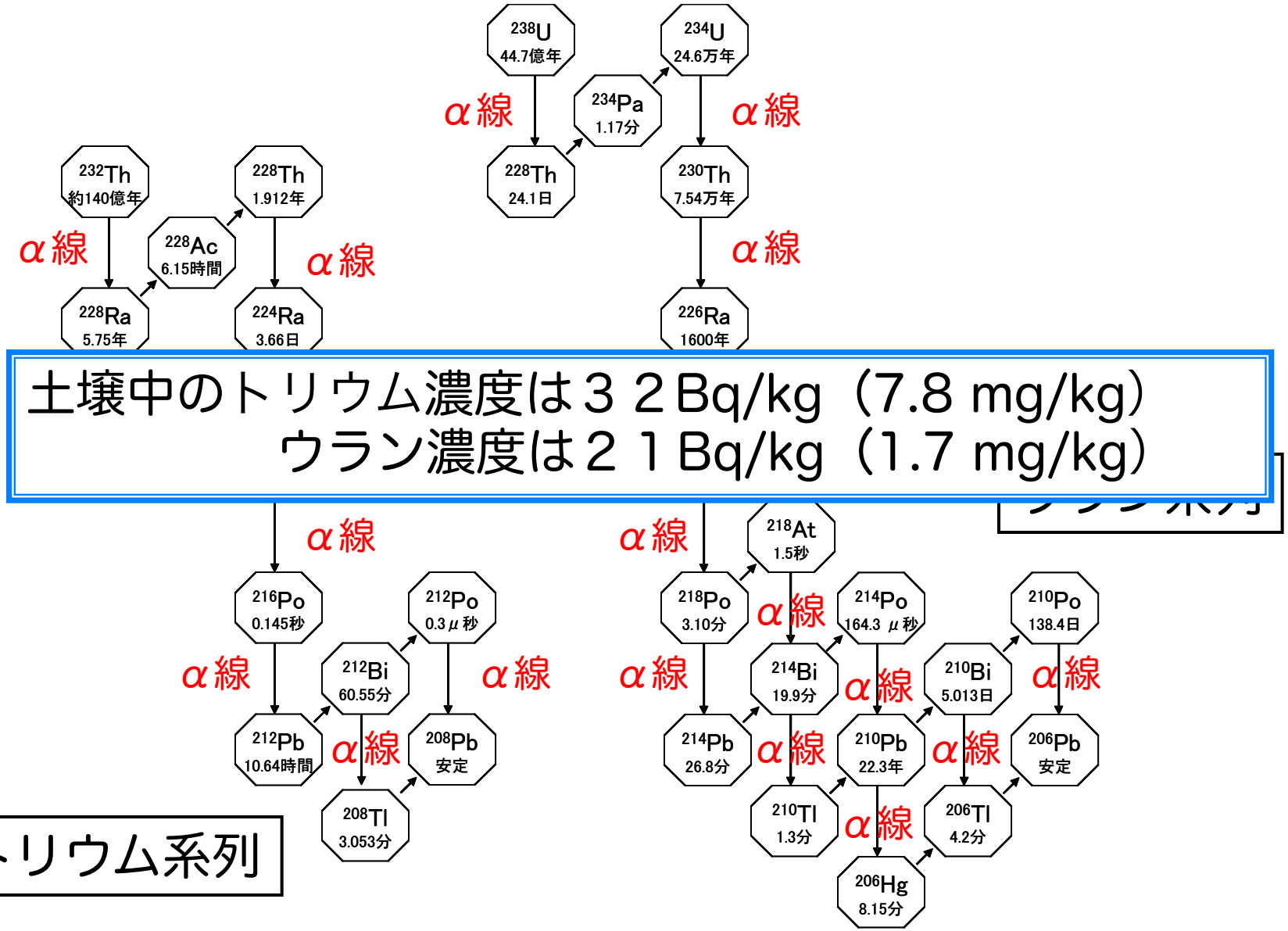
・壊変系列を作るもの　　ウラン系列　（^{238}U：45 億年）

トリウム系列　（^{232}Th：140 億年）

・壊変系列を作らないもの　^{40}K（12.8 億年）

^{87}Rb（475億年）

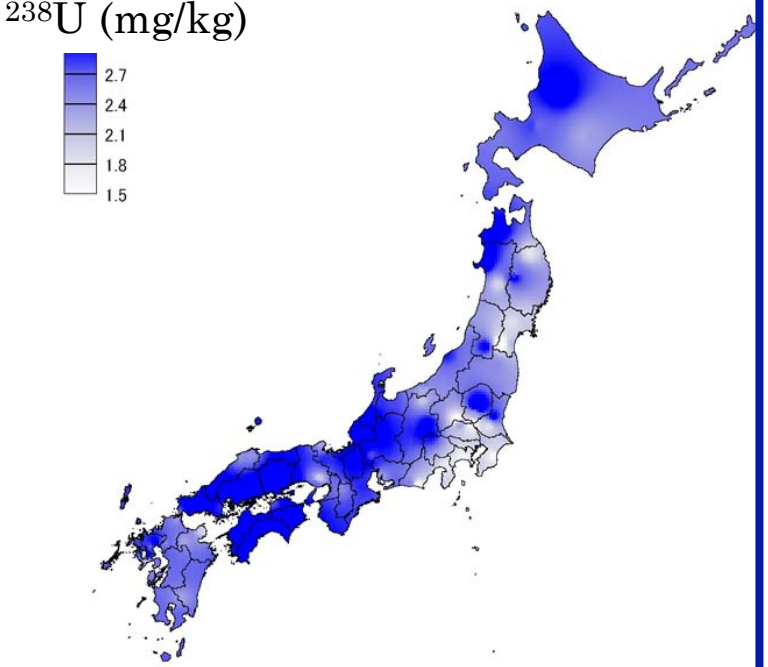
大地からの放射線


238U 44.7億年
234Pa 1.17分
234U 24.6万年
α線
α線
228Th 24.1日
230Th 7.54万年
α線
232Th 約140億年
228Th 1.912年
228Ac 6.15時間
α線
α線
228Ra 5.75年
224Ra 3.66日
226Ra 1600年
土壌中のトリウム濃度は３２Bq/kg（7.8 mg/kg）
ウラン濃度は２１Bq/kg（1.7 mg/kg）
α線
α線
218At 1.5秒
216Po 0.145秒
212Po 0.3μ秒
218Po 3.10分
214Po 164.3 μ秒
210Po 138.4日
α線
α線
α線
α線
α線
α線
212Bi 60.55分
214Bi 19.9分
210Bi 5.013日
212Pb 10.64時間
208Pb 安定
214Pb 26.8分
210Pb 22.3年
206Pb 安定
α線
α線
α線
208Tl 3.053分
210Tl 1.3分
206Tl 4.2分
α線
206Hg 8.15分
トリウム系列

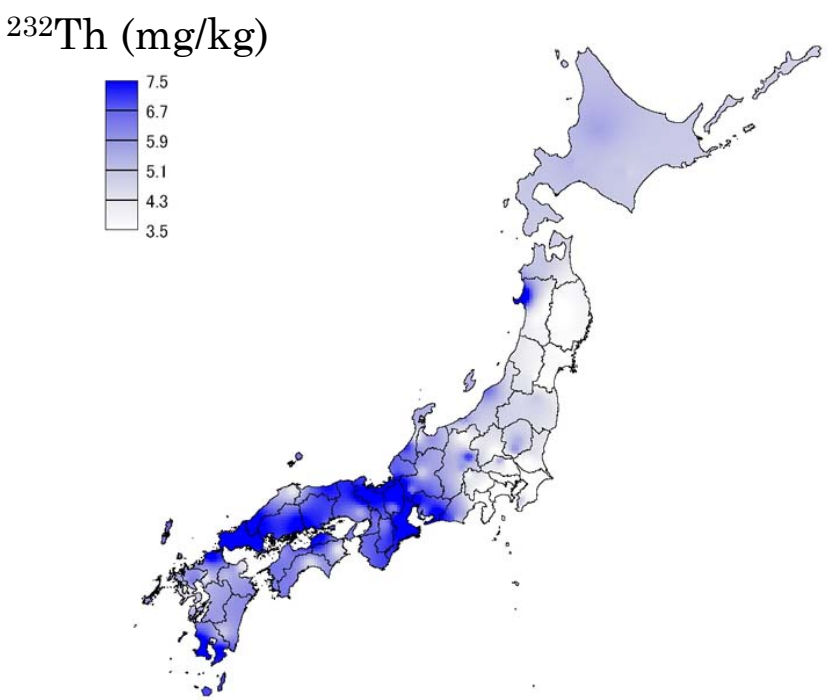
農耕地土壌中の^{238}Uおよび^{232}Th濃度

Data source: 放医研

1.0 – 11 mg/kg
(12 – 140 Bq/kg)



1.2 – 44 mg/kg
(4.9 – 179 Bq/kg)



食品中の放射性核種−1

食品中のカリウム−40のおおよその濃度

食品名	放射能（Bq/kg）	食品名	放射能（Bq/kg）
干し昆布	2000	魚	100
干し椎茸	700	牛乳	50
お茶	600	米	30
ドライミルク	200	食パン	30
生わかめ	200	ワイン	30
ホウレンソウ	200	ビール	10
牛肉	100	清酒	1

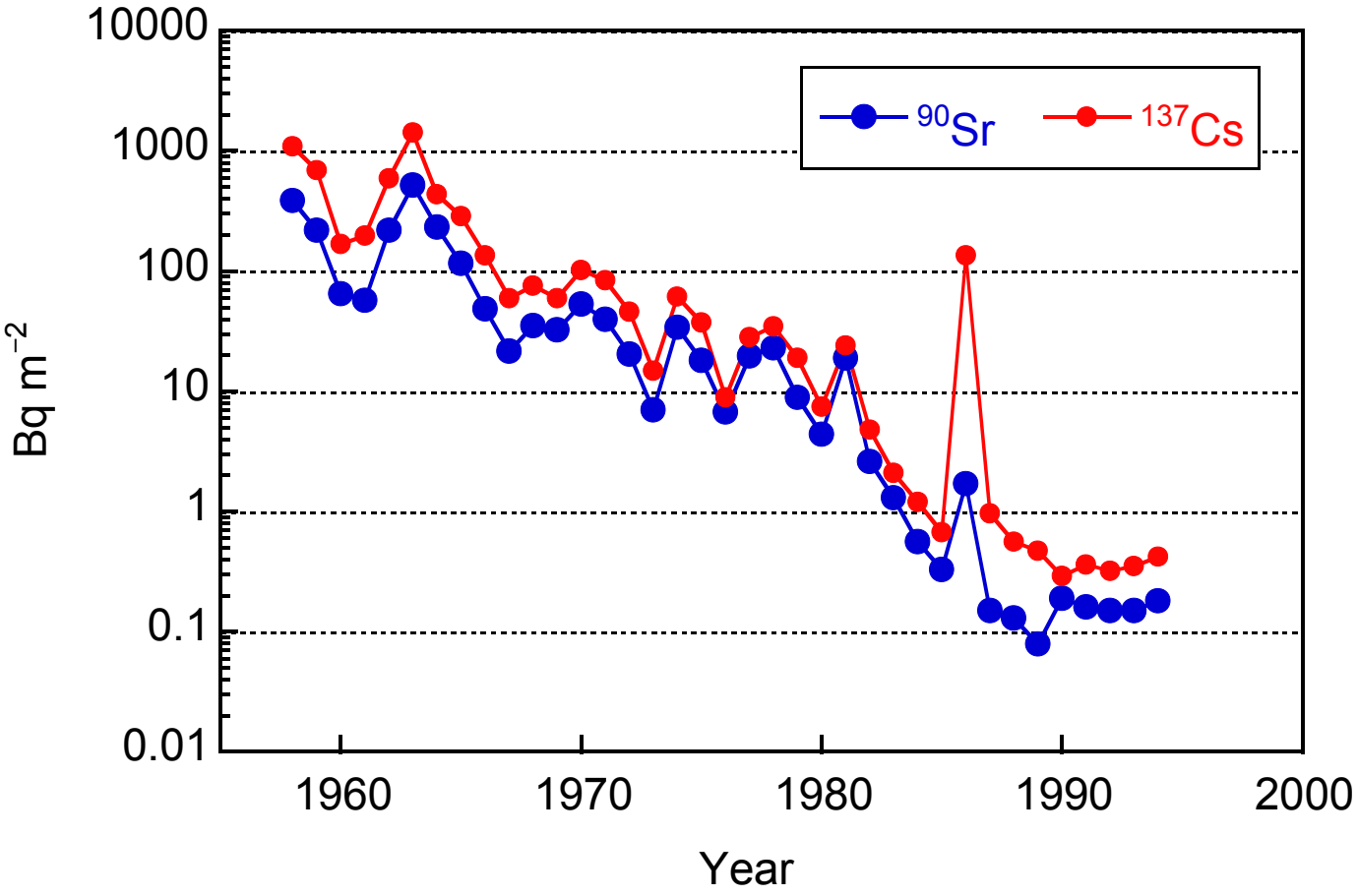
出所：放射線医学総合研究所資料
出典：渡利一夫,稲葉次郎(編)：放射能と人体，研成社(1999),45p

２．　天然放射性核種・人工放射性核種

（意図する・しないに関わらず）人工的に作られた放射性核種

核爆発実験で生じたもの

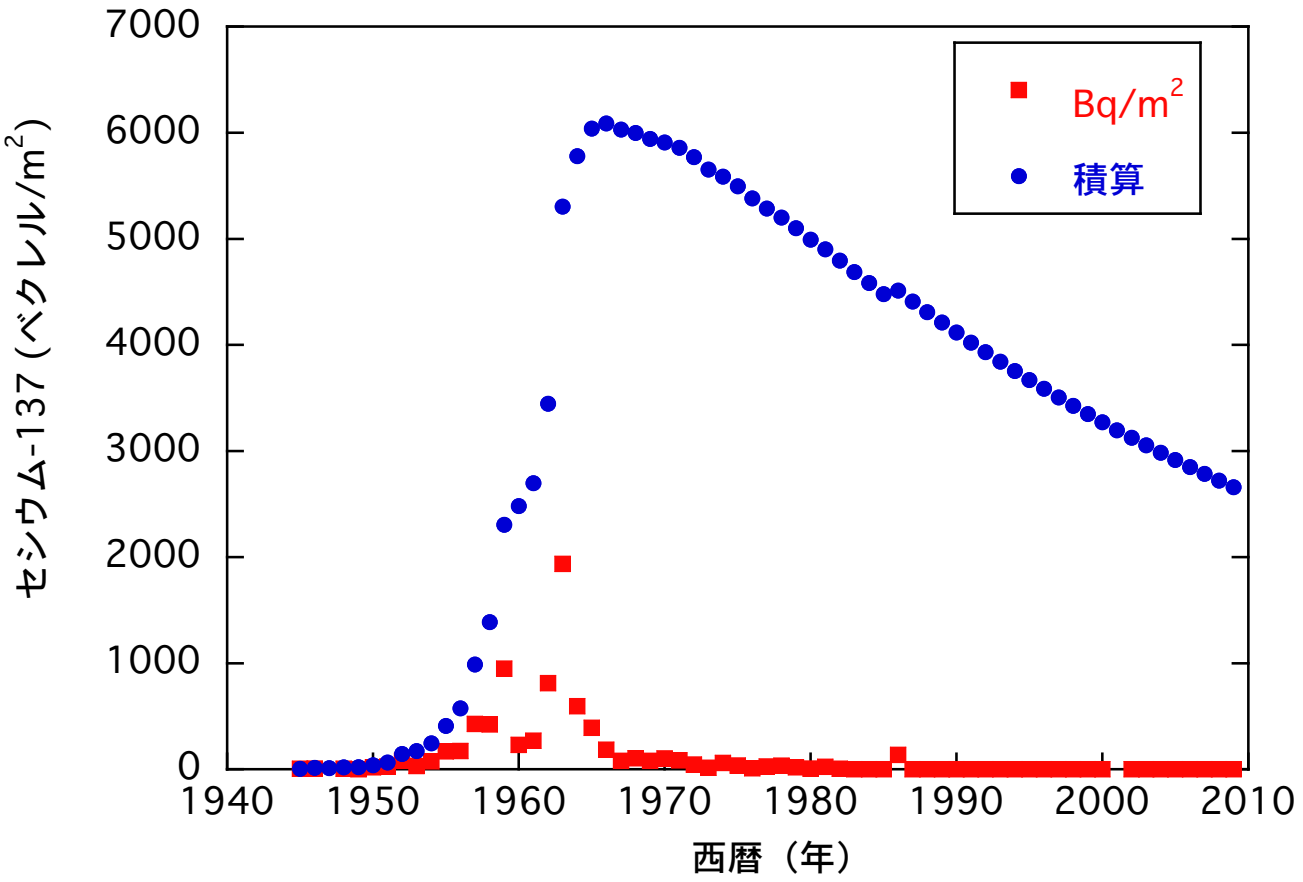
大気降下物中の^{90}Srと^{137}Cs濃度の経時変化



（気象研究所、1996報告書より抜粋）

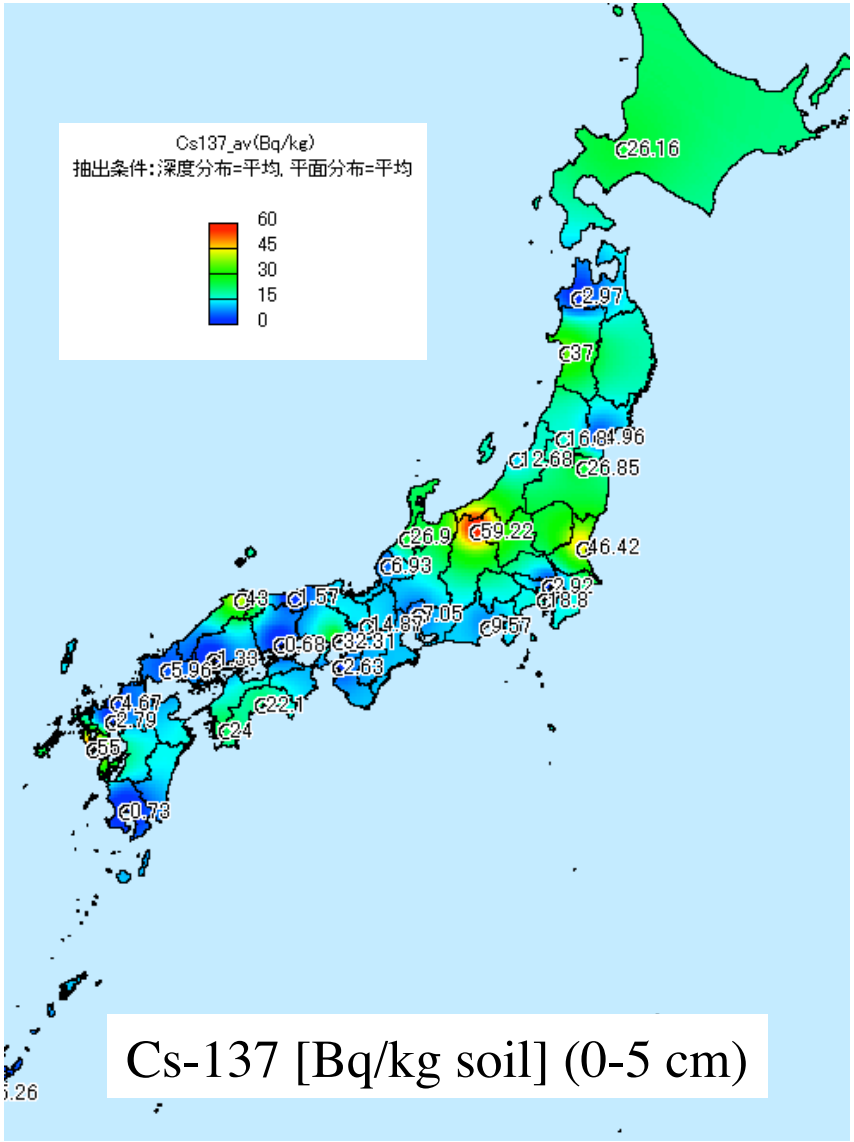
＜土の汚染の状況＞

大気圏内核実験の影響により放射性セシウムは
すでに広く土壌中に分布

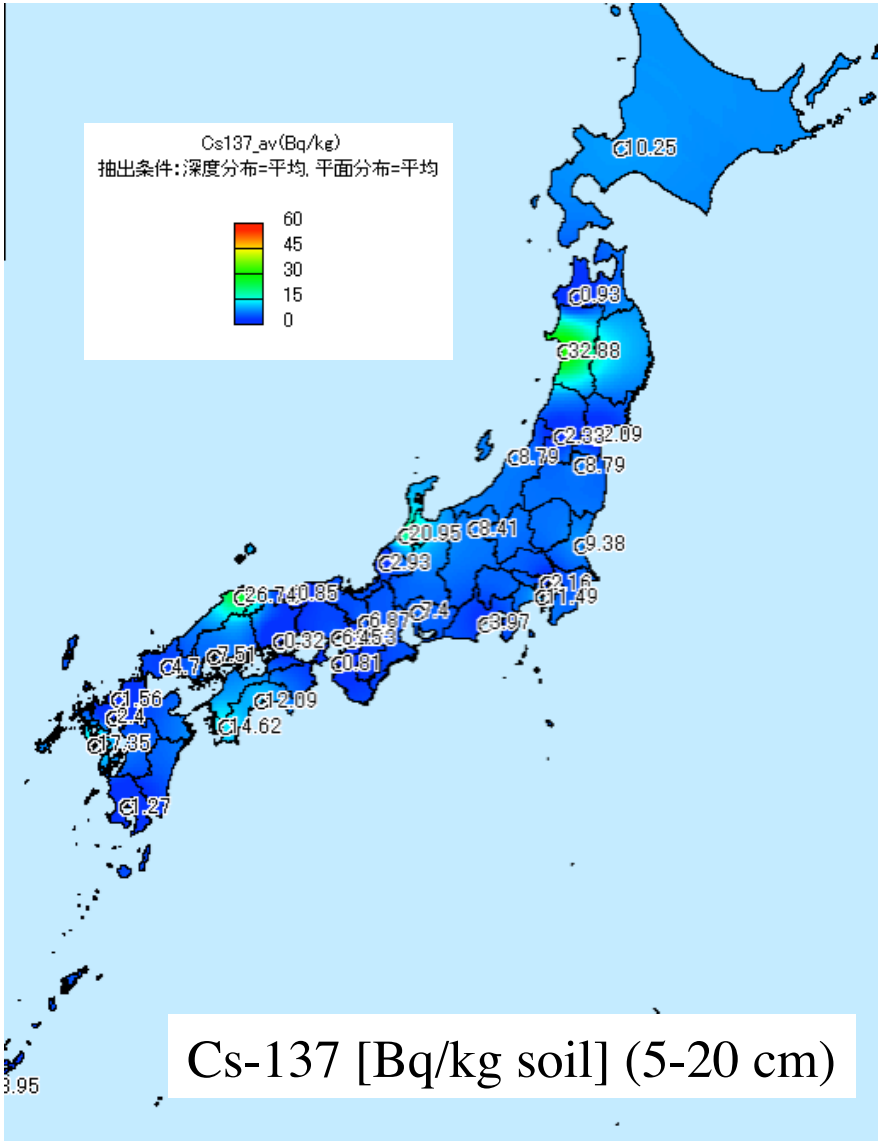


気象研データより

Cs-137の土壌表層濃度（1990 – 1999）



Cs-137 [Bq/kg soil] (0-5 cm)



Cs-137 [Bq/kg soil] (5-20 cm)

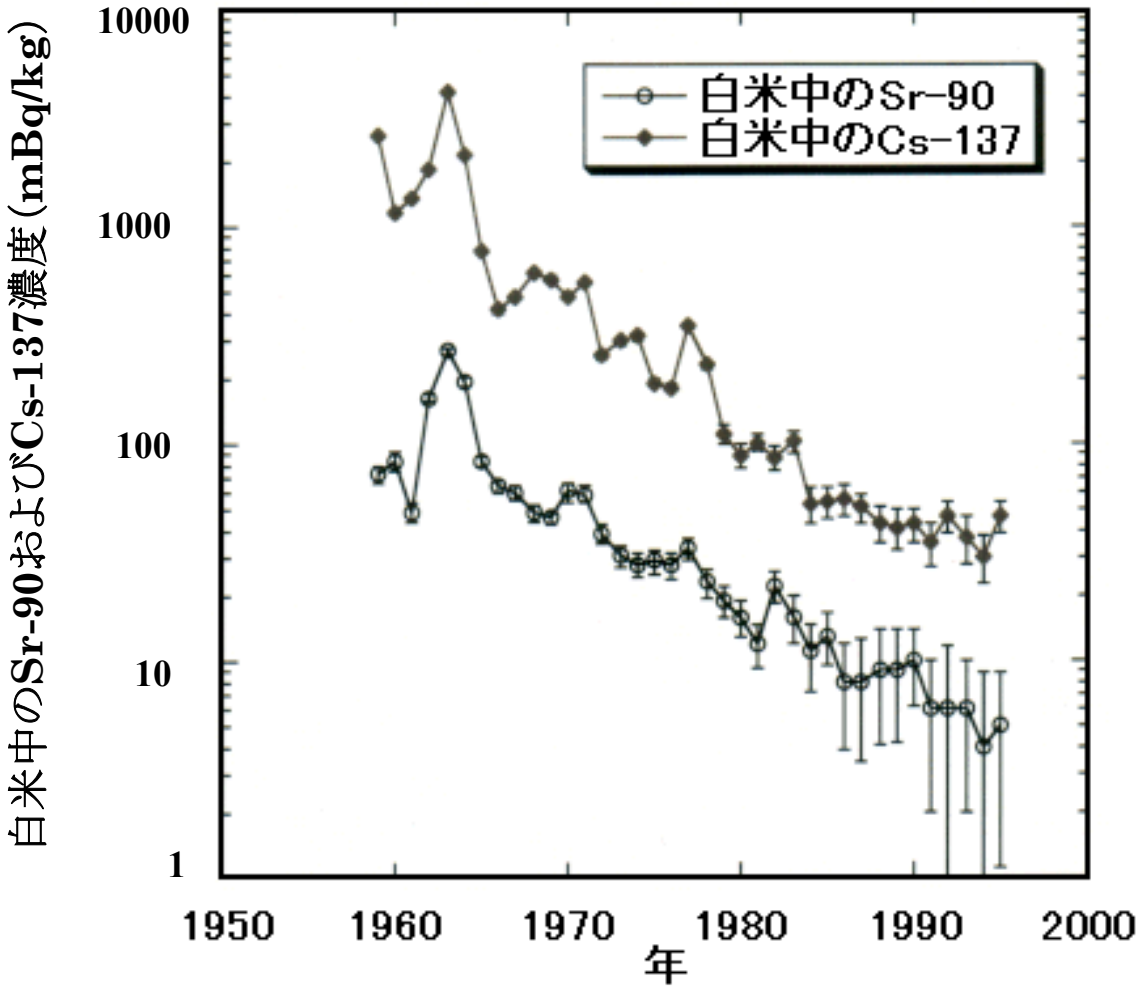
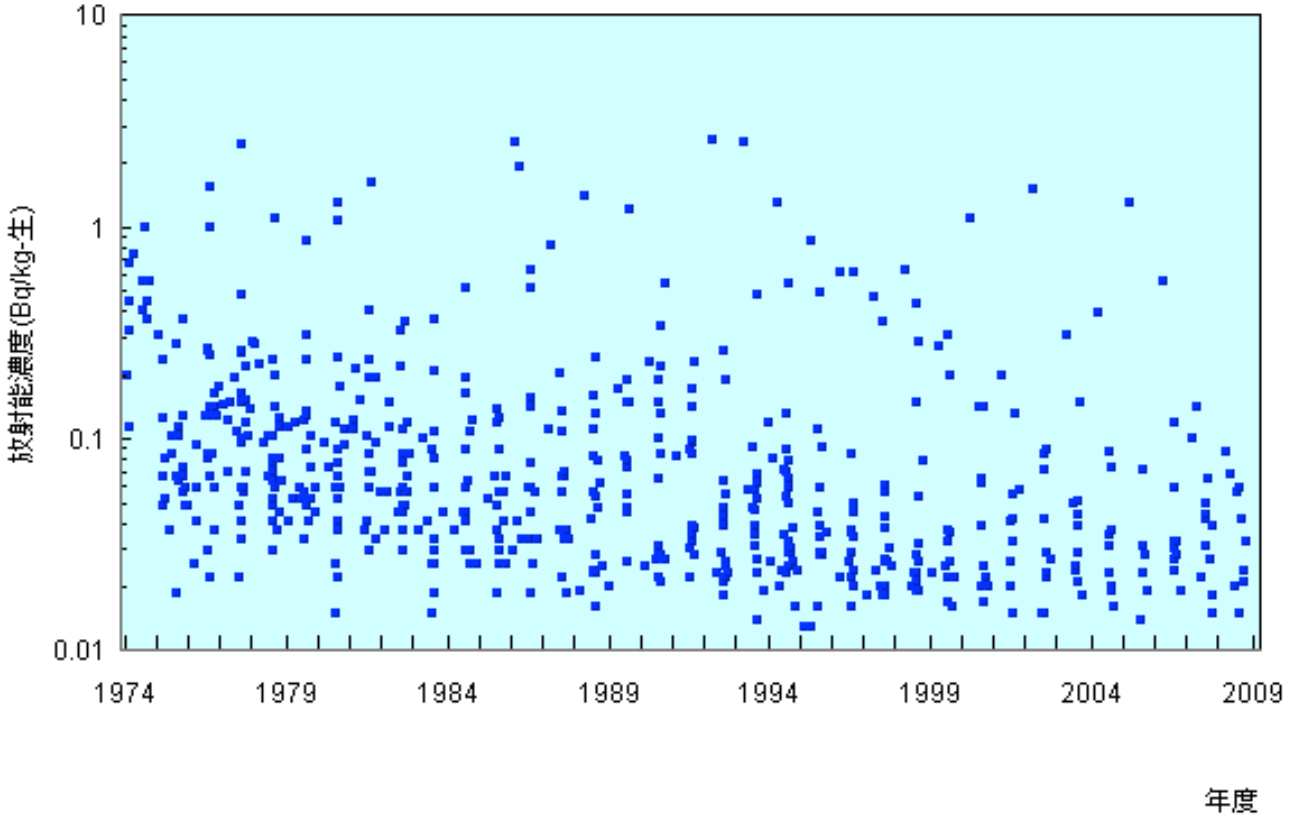


図3　白米中のSr－90および
Cs－137濃度の経年変化

[出典]駒村美佐子ほか：我が国での^{90}Srと^{137}Csによる白米汚染、1959年以来37年間の長期観測とその解析、Radioisotopes, 50, 80-93 (2001).

野菜(葉菜)中のCs-137経年変化

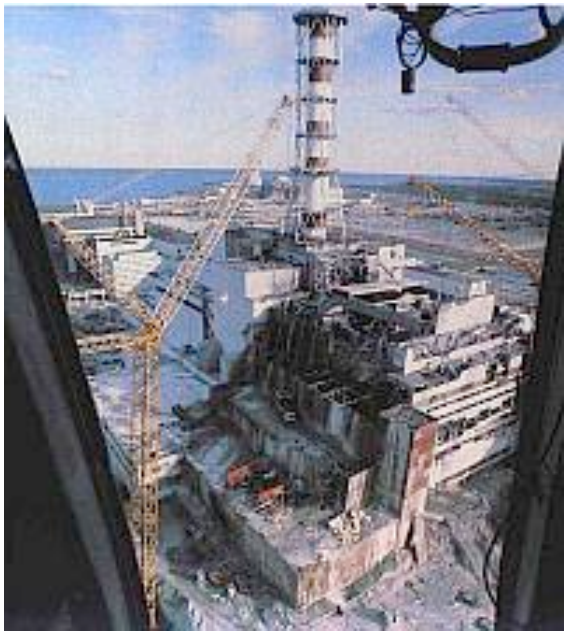


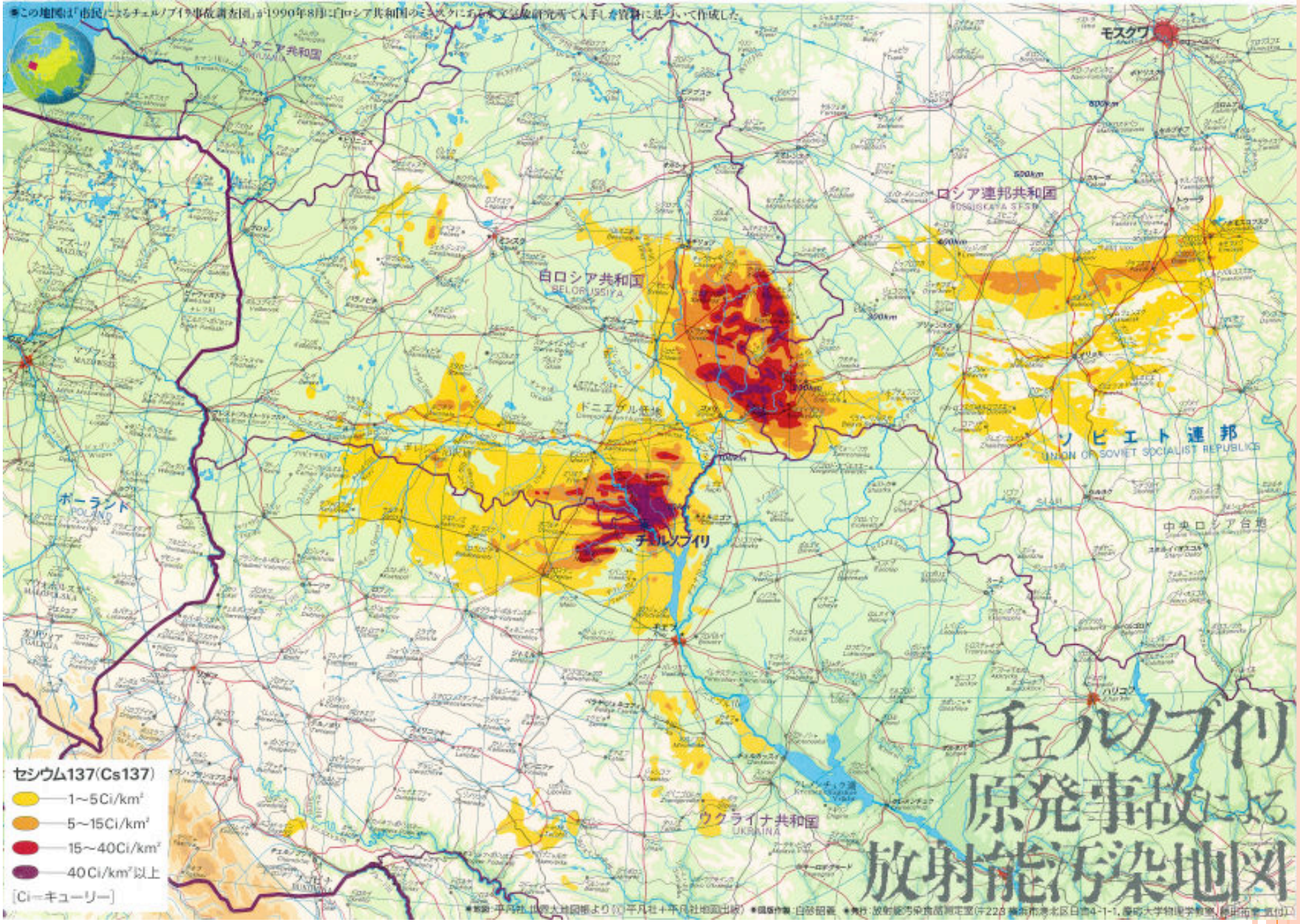
この図は、日本各地の野菜(葉菜)1kgあたりに含まれるCs-137の量について、1974年度から2008年度までの変化を表しています。現在、野菜(葉菜)中のCs-137濃度は1970年代の1/2程度のレベルです。

出典:日本分析センター, 環境放射線データベース

３．　チェルノブイリ原発事故と福島原発事故

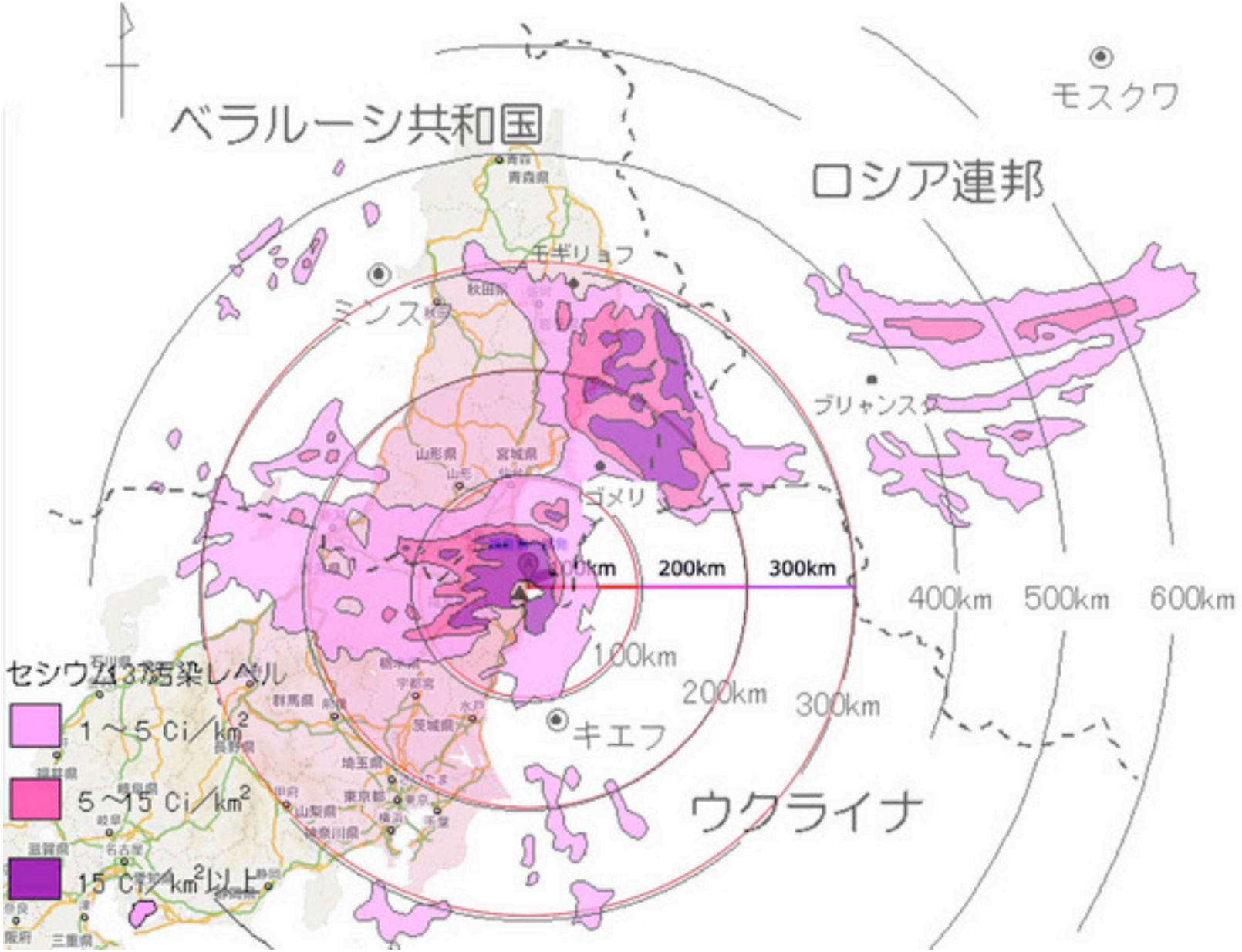
チェルノブイリ原発事故と
福島原発事故：どう違うのか？





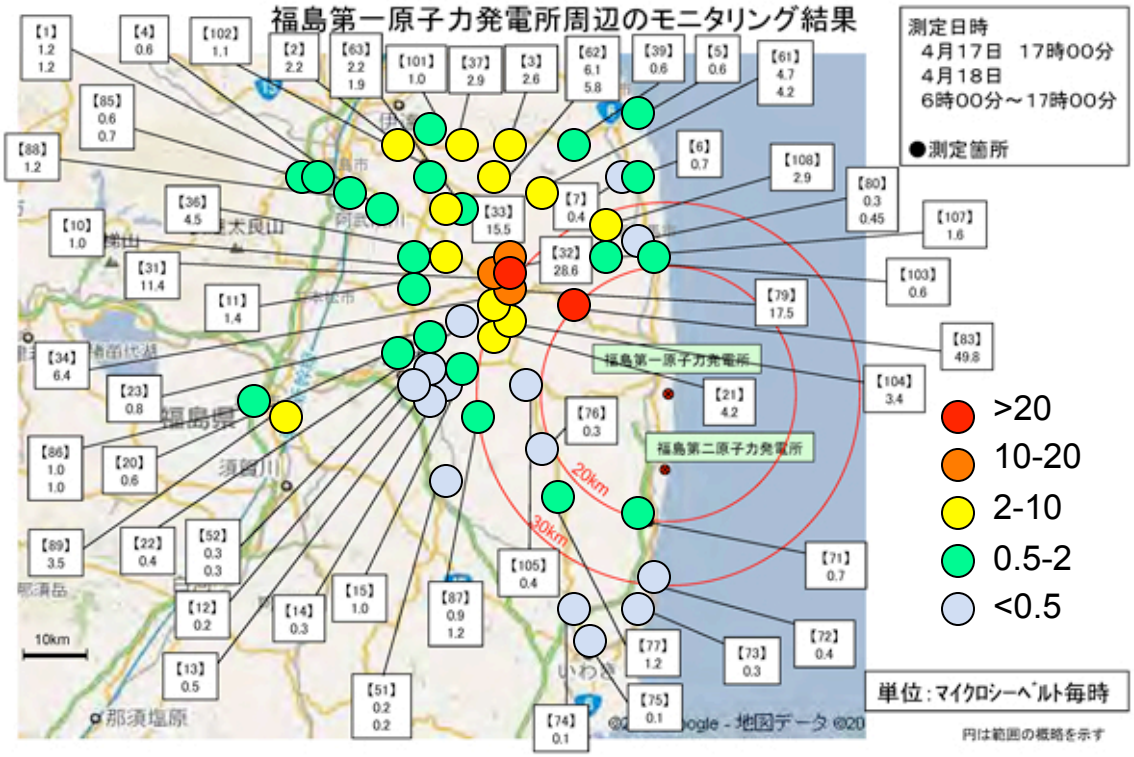
平凡社　世界大地図帳より

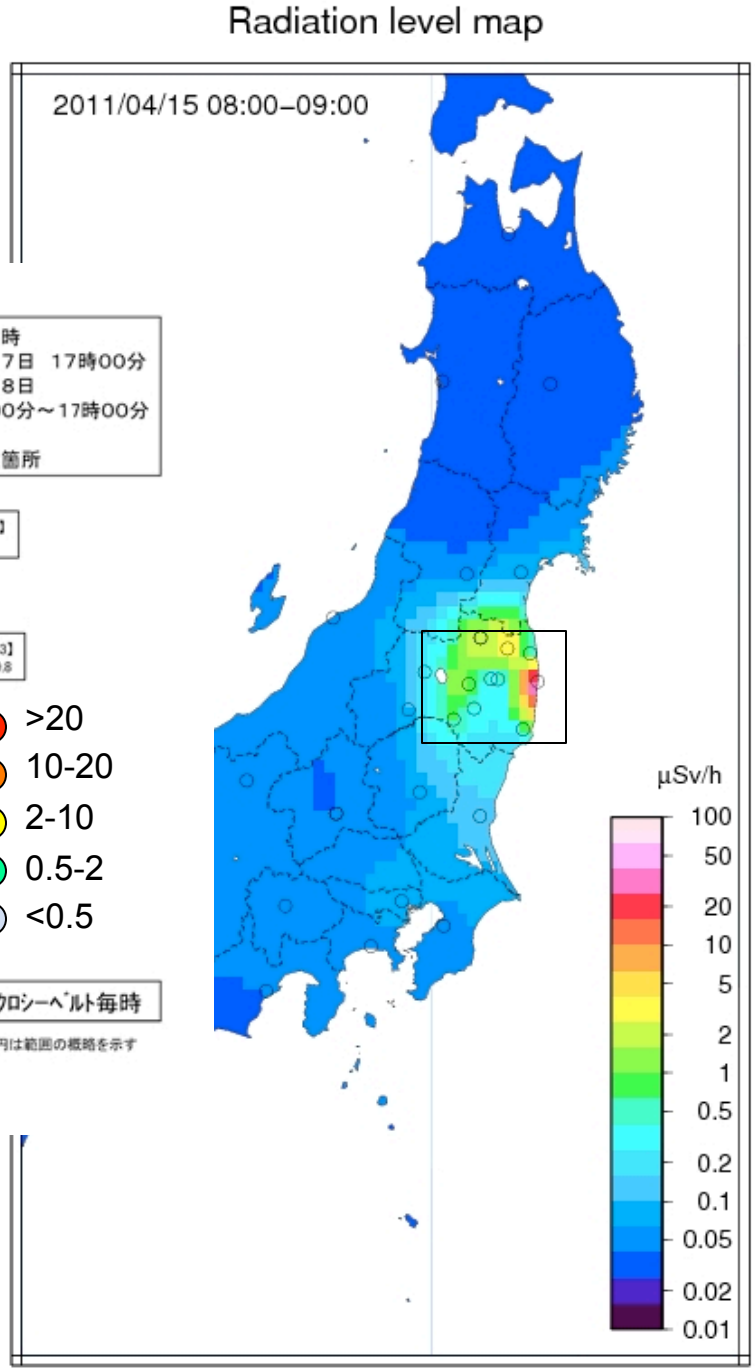
日本地図に乗せた場合


ベラルーシ共和国
モスクワ
ロシア連邦
モギリョフ
ミンスク
ブリャンスク
ゴメリ
100km
200km
300km
400km
500km
600km
キエフ
ウクライナ
セシウム137汚染レベル
1～5 Ci／km²
5～15 Ci／km²
15 Ci／km²以上

４．福島原発由来の放射性核種

現在の汚染の状況

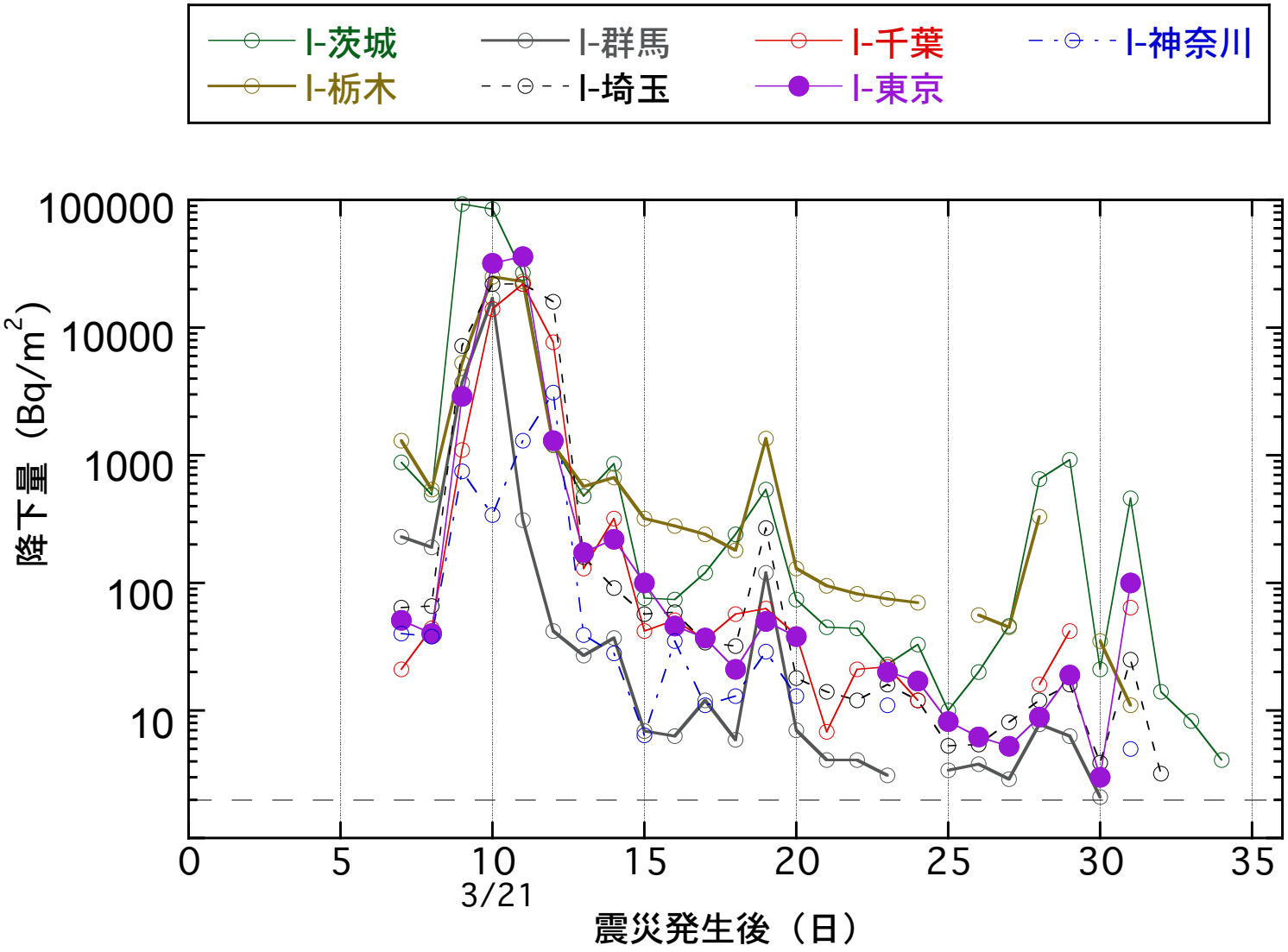




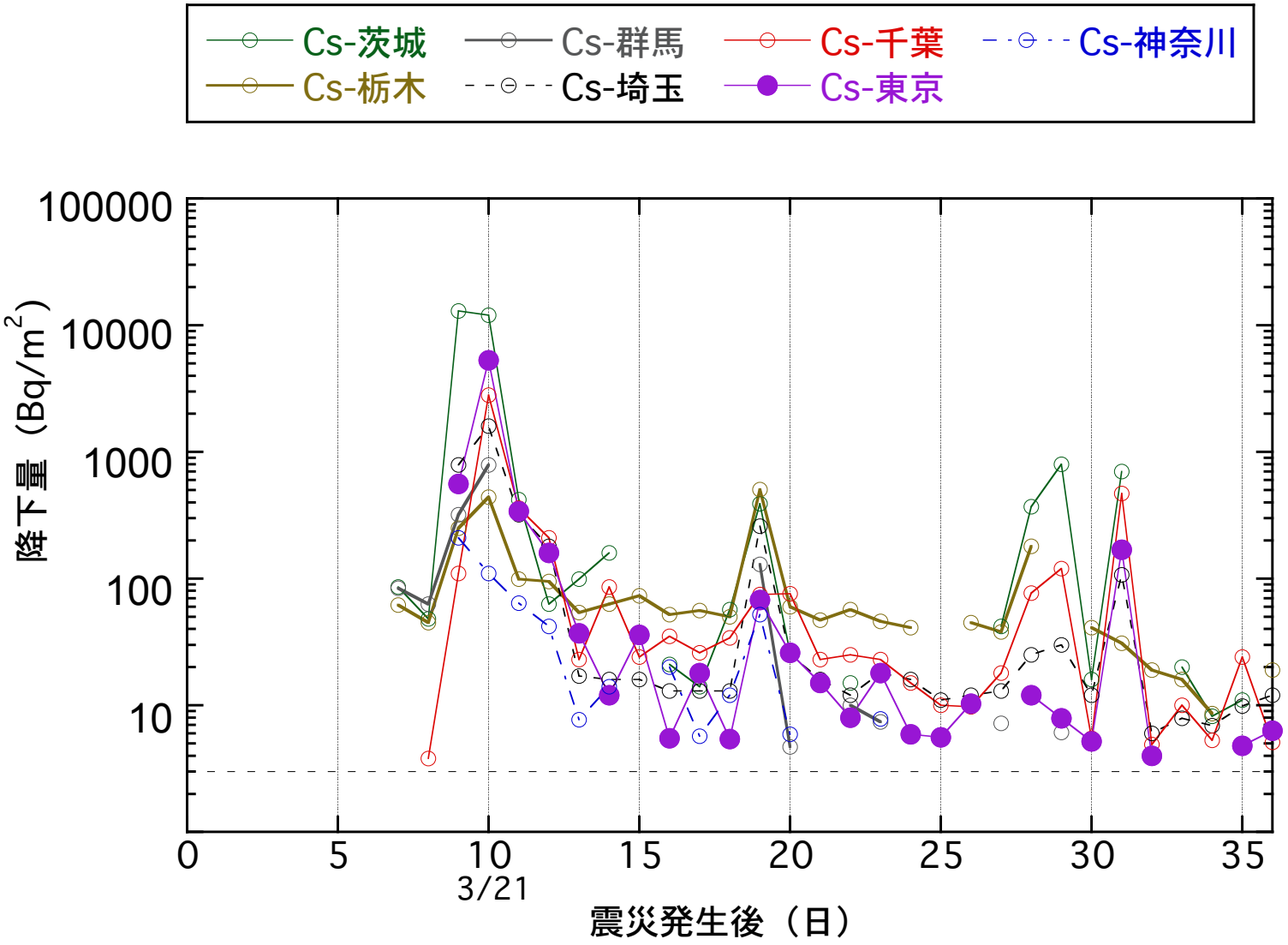
http://e-trees.net/mext_index.html

Data taken from http://www.pref.fukushima.jp/j/sokuteichiXXX.pdf
and ftp://oku.edu.mie-u.ac.jp/~okumura/stat/data/mext.csv

ヨウ素-131の降下量（関東）

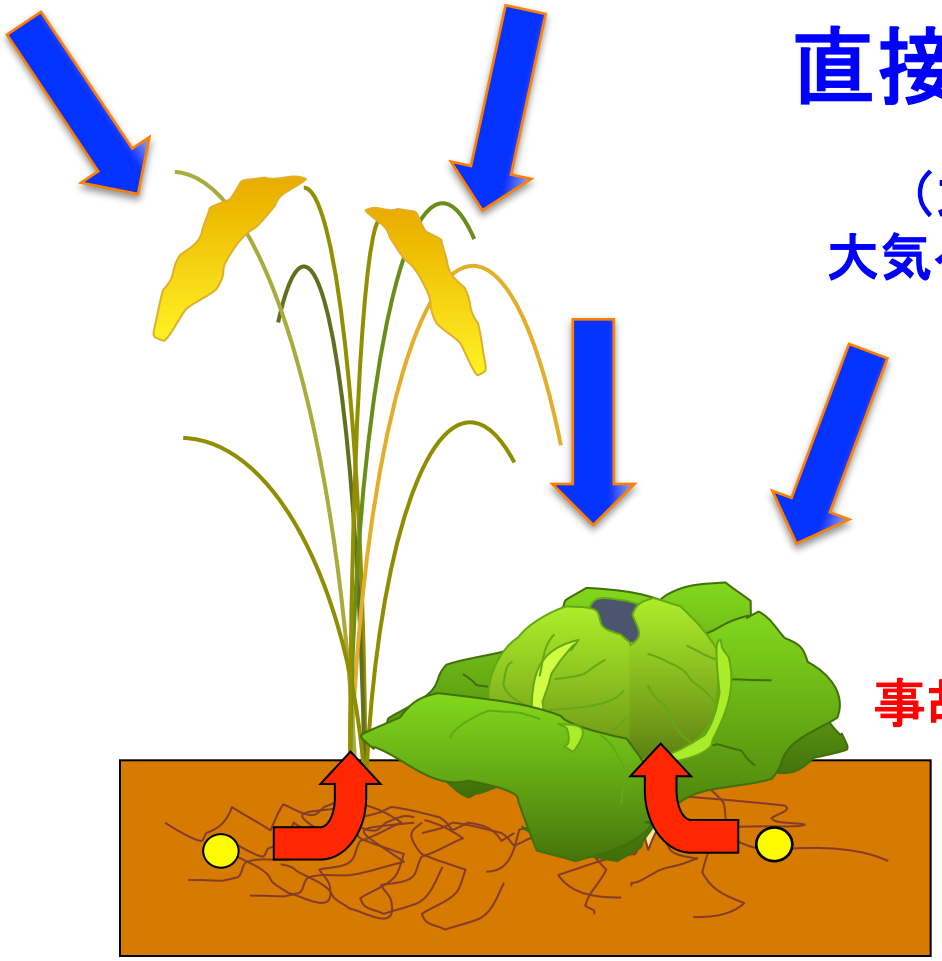


セシウム-137の降下量（関東）



５．農作物への移行

農作物への移行経路



直接経路

（大気中から直接葉面に）
大気への放出直後に重要な経路

（土壌から根による吸収）
事故後、中・長期にわたる移行経路

経根吸収経路

放射能モニタリング調査結果

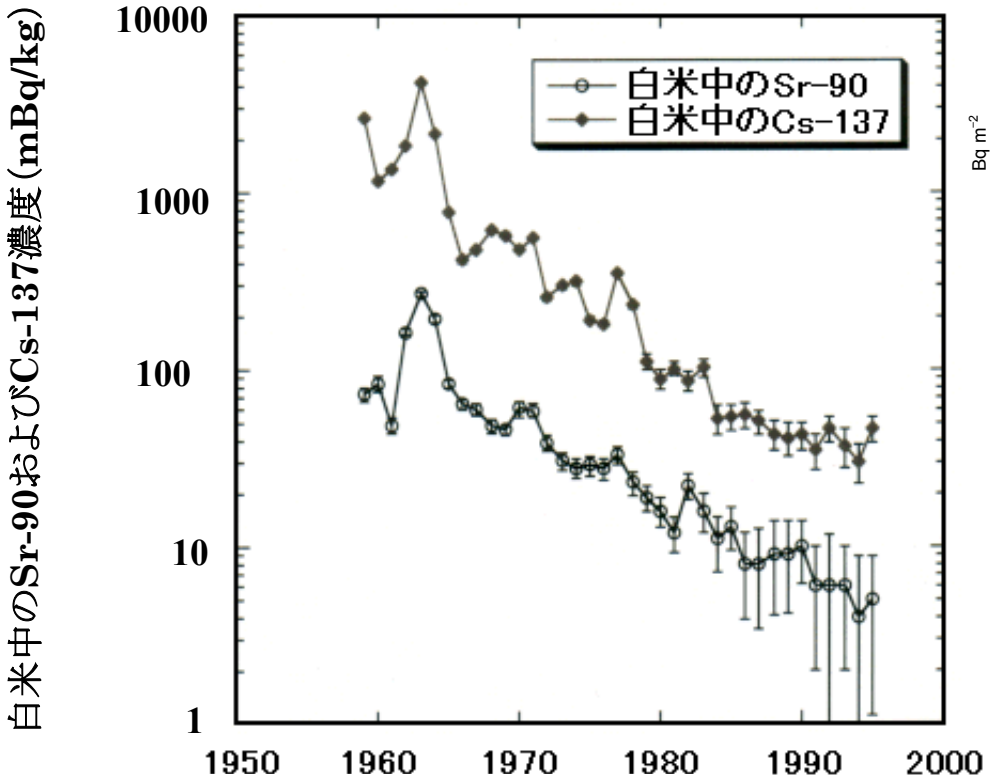
（3月19日採取分）

No.	市町村	品目	放射性セシウム	放射性ヨウ素
1	宇都宮市	ホウレンソウ	570	3,500
2	上三川町	ホウレンソウ	500	3,600
3	上三川町	ホウレンソウ	740	4,600
4	下野市	ホウレンソウ	460	3,200
5	下野市	ホウレンソウ	510	3,900
6	壬生町	ホウレンソウ	790	5,000
7	壬生町	ホウレンソウ	770	5,700
8	佐野市	かき菜	280	2,000
9	佐野市	かき菜	161	1,700
10	佐野市	かき菜	176	1,500
11	さくら市	ねぎ	27	270
12	さくら市	ねぎ	検出せず	93
13	大田原市	ねぎ	250	110
14	那須塩原市	ねぎ	17.3	72
15	那須烏山市	ねぎ	18.9	1,400

暫定規制値（野菜類） Cs-134+Cs-137: 500Bq／kg　I-131:2,000Bq／kg

単位：Bq/kg

米への移行



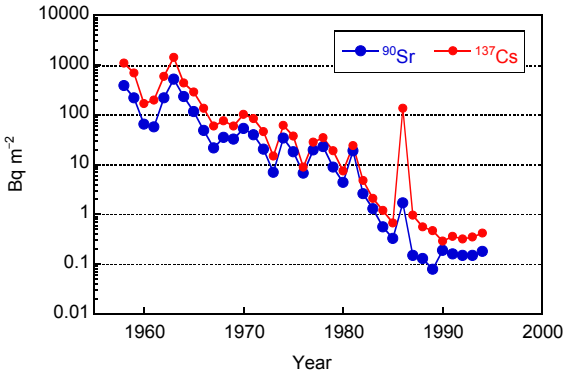


図3　白米中のSr－90および
Cs－137濃度の経年変化

[出典]駒村美佐子ほか：我が国での^{90}Srと^{137}Csによる白米汚染、1959年以来37年間の長期観測とその解析、Radioisotopes, 50, 80-93 (2001).

農業環境技術研究所　駒村ら（2004）

農作物への移行-1

- 大気放出直後は、直接経路による農作物の汚染が重要。
- したがって、葉面積が大きい葉菜類が一番汚染される可能性がある。
- 一部、古い葉に沈着した放射性核種が新芽に移動(転流)するケースもある。
- これまで農作物中に検出されている放射性核種は、直接経路によるもので，経根吸収の寄与は大きくないと思われる。
- 今後、農作物の汚染は、経根吸収だけである。

土壌−農作物移行係数

（Soil-to-plant Transfer Factor, TF）

Element	Leafy vegetables		Fruit vegetables		Leek & Onion		Wheat & Barley		Tubers		Root vegetables		Beans		Brown rice	
	N	GM	N	GM	N	GM	N	GM	N	GM	N	GM	N	GM	N	GM
Co	18	5.8E-3	18	4.0E-3	12	3.6E-3	9	8.2E-4	11	3.3E-3	10	2.5E-3	7	4.8E-3	62	8.7E-4
Sr	18	2.5E-1	18	5.4E-2	12	1.2E-1	9	1.5E-2	11	2.7E-2	10	1.4E-1	7	7.5E-2	61	3.2E-3
Cs	18	5.4E-3	18	5.8E-3	12	1.7E-3	9	7.6E-4	11	5.5E-3	10	4.4E-3	7	3.7E-3	63	9.7E-4
U	14	6.6E-4	14	1.2E-4	9	7.4E-4	7	9.8E-5	11	7.0E-4	10	4.0E-4	6	1.8E-4	44	5.7E-5
Ra-226	17	1.0E-2	7	4.2E-3	9	1.1E-2	6	2.7E-3	9	1.9E-3	8	1.1E-2	-	n.m.	46	4.6E-4
Cs-137	4	7.6E-2	5	4.0E-2	6	1.6E-2	1	1.7E-3	6	2.6E-2	4	2.2E-2	-	n.m.	30	3.3E-3

N: number of observations. GM: Geometric mean

$$\text{移行係数(TF)} = \frac{\text{農作物（可食部）中の放射性核種濃度（Bq/Kg-dry）}}{\text{土壌中の放射性核種濃度（Bq/Kg-dry）}}$$

2. 土壌から農作物へのCsの移行

社団法人日本土壌肥料学会
土壌・農作物等への原発事故影響WG

土壌の種類によってもCsの溶け出し方が異なっているため、土壌から作物への移行係数は、作物や土壌の種類によって異なる。表に示した農作物では、白米の移行係数が最も低く、他の作物に比べおおよそ1桁低い値である。その他の作物の中で、葉菜類が若干高い値である。なお、それぞれの値は、おおよそ2桁の範囲にある。

表　日本における土壌から農作物（乾物）へのフォールアウトCs-137移行係数の例

作物	幾何平均値	±95%信頼区間	乾物割合(%)	試料数	引用文献
白米	0.0016	0.00021 – 0.012		n=20	Tsukadaら, 2002b
白米	0.0030*			n=15	駒村ら, 1994
玄米	0.0033			n=12	Uchidaら, 2007
葉菜類	0.049			n=8	Kamei-Ishikawaら, 2008
キャベツ	0.026	0.0021 – 0.33	0.072	n=8	Tsukadaら, 2002c
果菜類	0.029			n=8	Kamei-Ishikawaら, 2008
バレイショ	0.030	0.0050 – 0.18	0.20	n=26	Tsukadaら, 1999
バレイショ	0.020			n=7	Kamei-Ishikawaら, 2008

*算術平均値（水分12%と仮定して乾物重量に補正）

注）ここに示す移行係数は農作物中濃度を乾燥重量として示した値である。従って、表の移行係数から農作物中生重量（新鮮重量）に換算するためには、乾物割合（例: IAEA, 1994; Tsukadaら, 1998）で換算する必要がある。

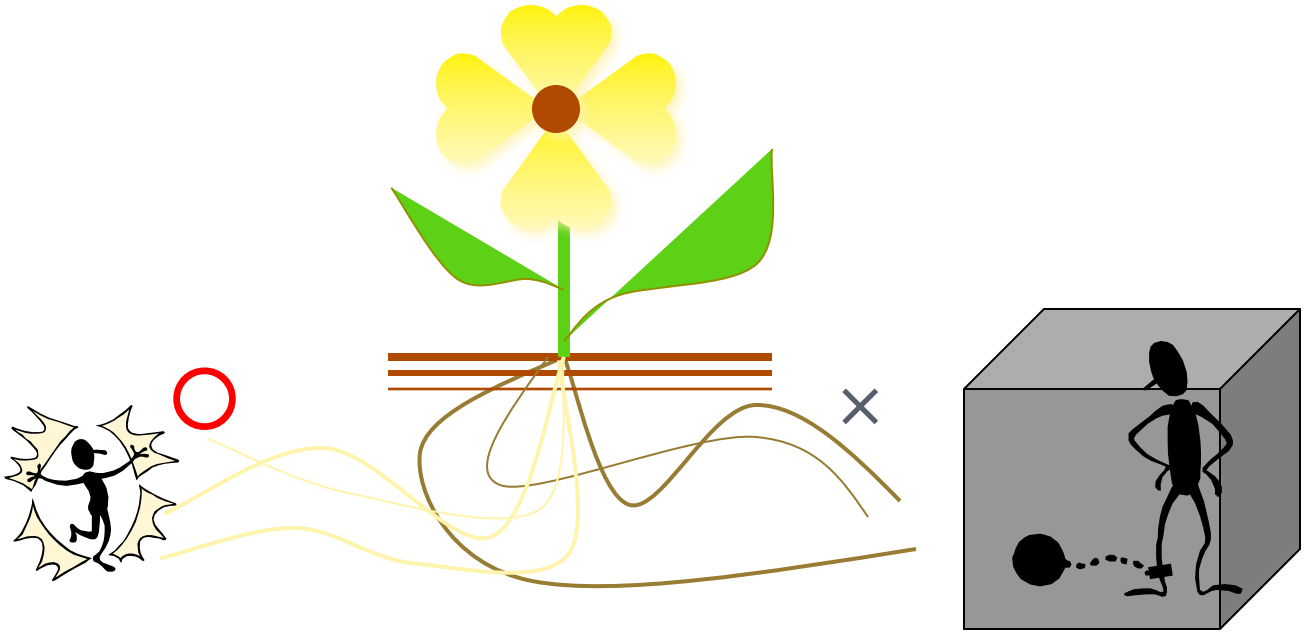
農地土壌中の放射性セシウムの野菜類への移行係数

$$\text{移行係数(TF)} = \frac{\text{農作物(可食部)中の放射性核種濃度(Bq/kg-wet)}}{\text{土壌中の放射性核種濃度(Bq/kg-dry)}}$$

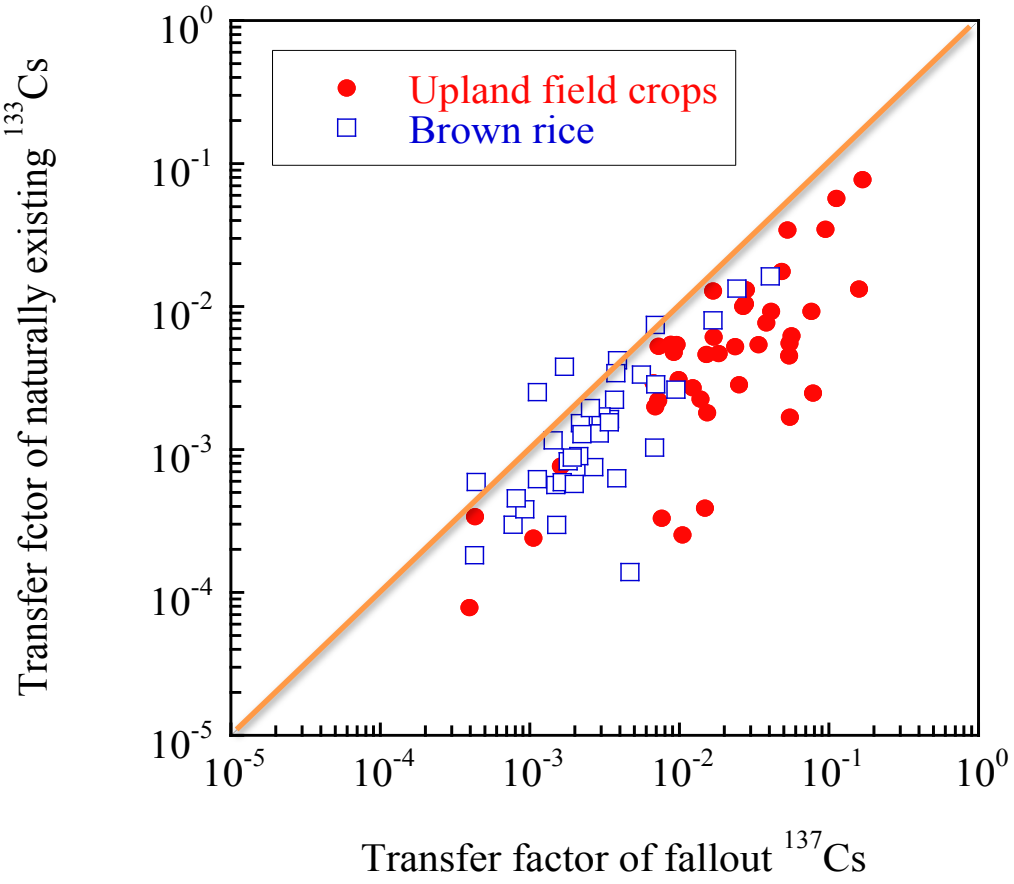
分類名	農作物名	科名	幾何平均値	移行係数 範囲 (最小値–最大値)	備考
葉菜類	ホウレンソウ	アカザ科	0.00054	–	1 論文に記載された幾何平均値を転記
	カラシナ	アブラナ科	0.039	–	2 論文から得られた 2 個のデータから算出
	キャベツ		0.00092	0.000072–0.076 [指標値:0.0078]	5 論文から得られた 58 個のデータから算出
	ハクサイ		0.0027	0.00086–0.0074	2 論文から得られた 5 個のデータから算出
	レタス	キク科	0.0067	0.0015–0.021	2 論文から得られた 14 個のデータから算出
果菜類	カボチャ	ウリ科	–	0.0038–0.023	1 論文から得られた 4 個のデータから算出
	キュウリ		0.0068	–	1 論文に記載された 1 個のデータを転記
	メロン		0.00041*	–	1 論文に記載された算術平均値を転記
	トマト	ナス科	0.0007	0.00011–0.0017	3 論文から得られた 8 個のデータから算出
果実的野菜	イチゴ	バラ科	0.0015	0.00050–0.0034	1 論文から得られた 7 個のデータから算出
マメ類	ソラマメ	マメ科	0.012	–	1 論文に記載された幾何平均値を転記
鱗茎類	タマネギ	ユリ科	0.00043	0.000030–0.0020	2 論文から得られた 13 個のデータから算出
	ネギ		0.0023	0.0017–0.0031	1 論文に記載された各値を転記
根菜類	ダイコン	アブラナ科	–	0.00080–0.0011	2 論文から得られた 2 個のデータを転記
	ニンジン	セリ科	0.0037	0.0013–0.014	2 論文から得られた 13 個のデータから算出
	ジャガイモ	ナス科	0.011	0.00047–0.13 [指標値:0.067]	6 論文から得られた 49 個のデータから算出
	サツマイモ	ヒルガオ科	0.033	0.0020–0.36	3 論文から得られた 14 個のデータから算出

ただし、放射性核種と安定元素は、存在形態が違う可能性がある。

- 土壌固相の鉱物構造中に含まれる元素は植物には使われない。一方で、環境に添加された放射性核種が鉱物中に取り込まれるまでに時間がかかる。つまり、より移動性が高い（植物に吸われやすい）。



長期的には、あるファクターで平衡に。



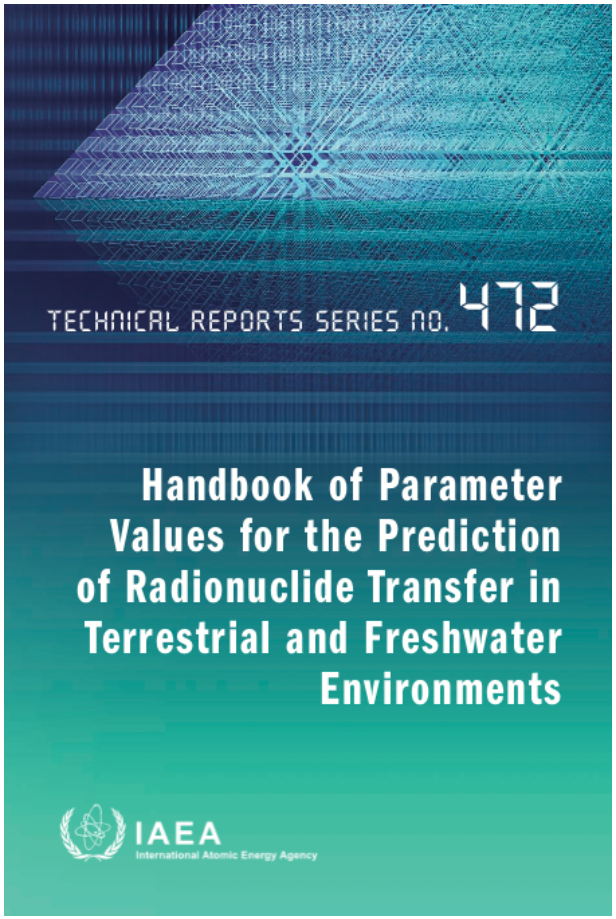
例：セシウム移行係数

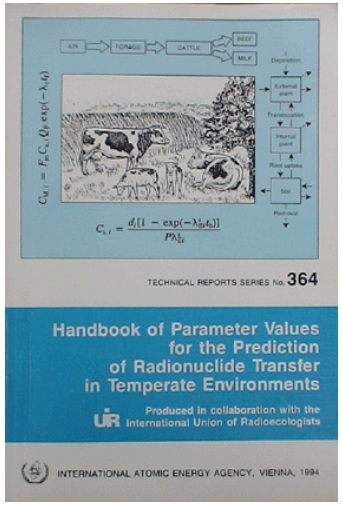
横軸はフォールアウト^{137}Cs

縦軸は安定Cs

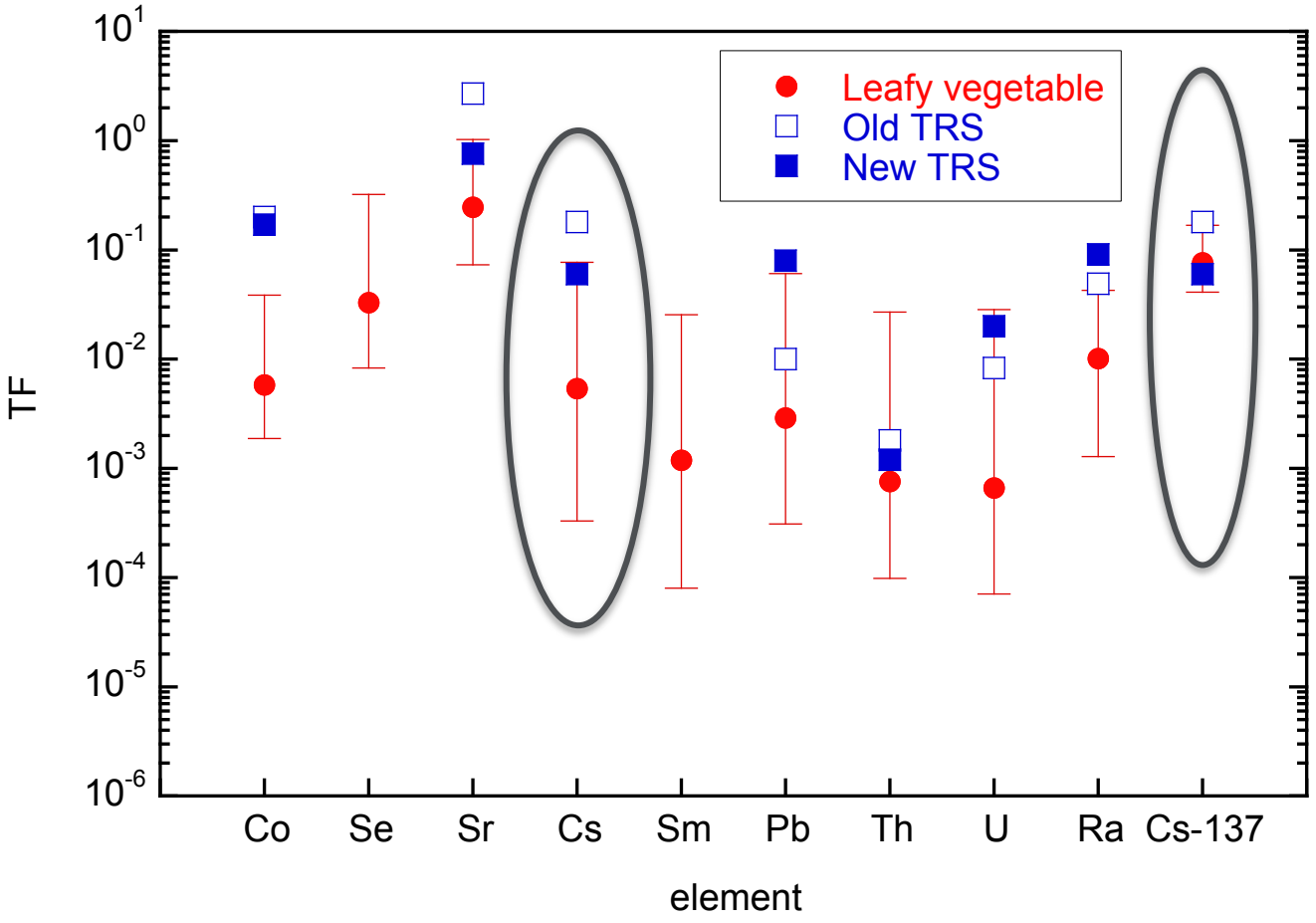
IAEA-TRS-472
based on radiotracer experiments

- Recently published TRS-472 by IAEA is a revised version of TRS-364 which collected environmental transfer parameters from temperate areas.
- The compiled TFs covers from tropical to temperate areas.
- Data from radiotracer experiments and field observations of fallout radionuclides were compiled.

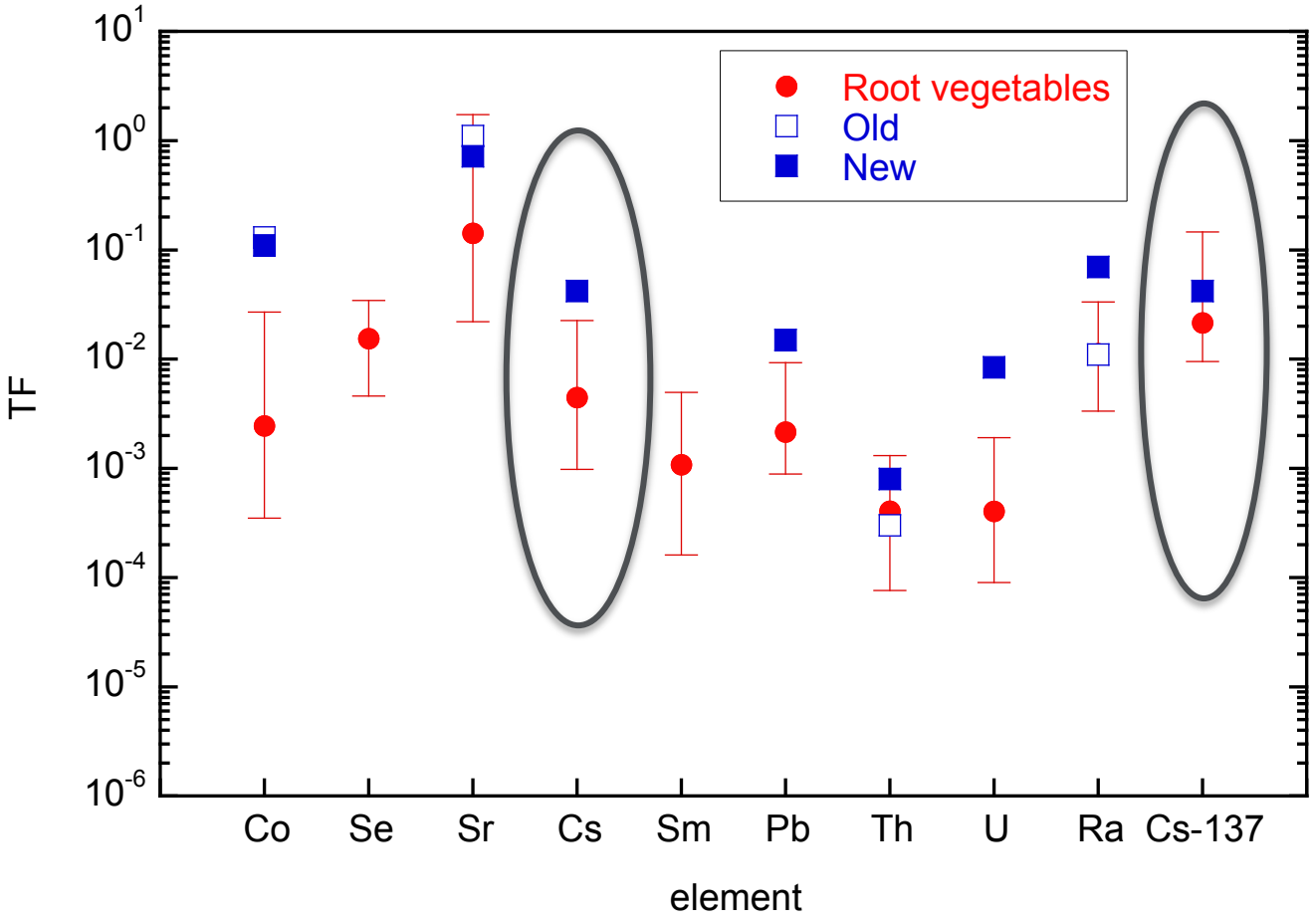




葉菜類の移行係数


Leafy vegetable
Old TRS
New TRS
TF
10^{1}
10^{0}
10^{-1}
10^{-2}
10^{-3}
10^{-4}
10^{-5}
10^{-6}
Co
Se
Sr
Cs
Sm
Pb
Th
U
Ra
Cs-137
element

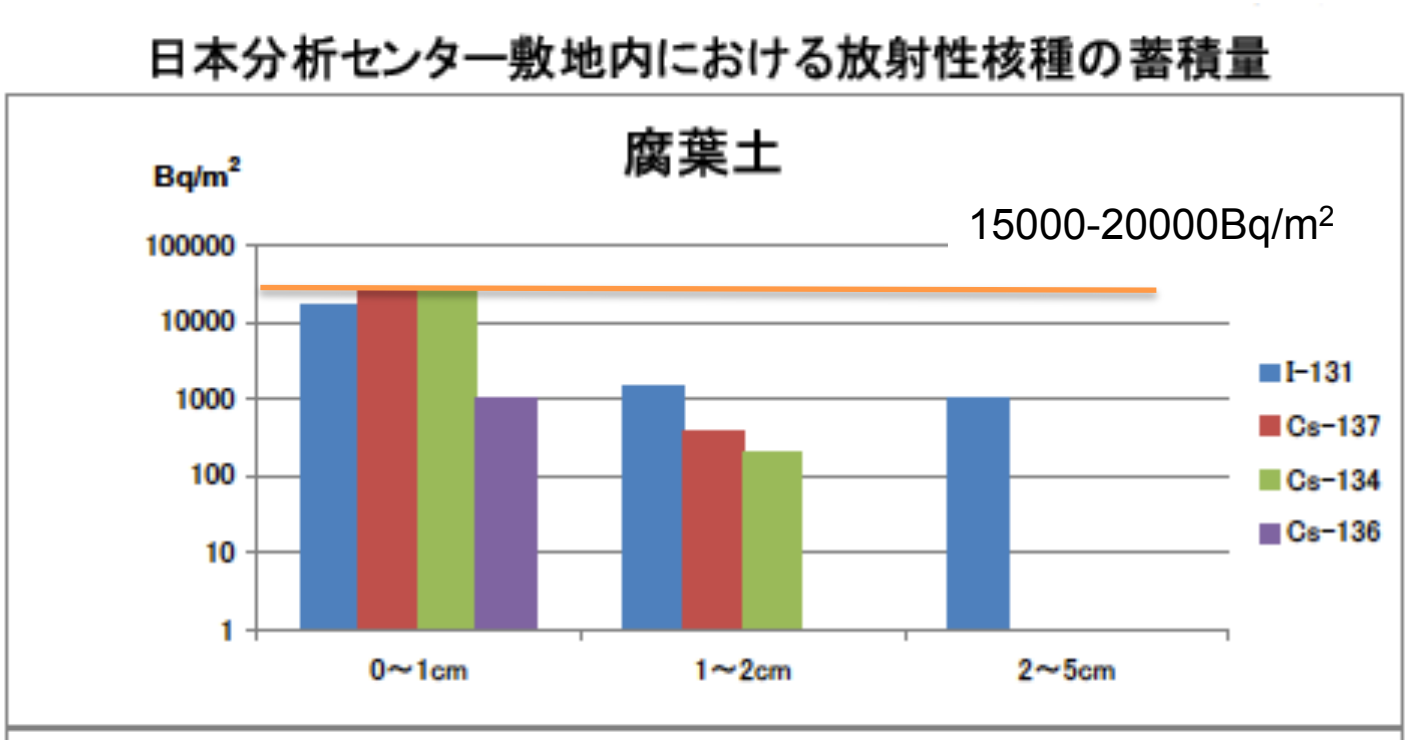
根菜類の移行係数


Root vegetables
Old
New
TF
10^{1}
10^{0}
10^{-1}
10^{-2}
10^{-3}
10^{-4}
10^{-5}
10^{-6}
Co
Se
Sr
Cs
Sm
Pb
Th
U
Ra
Cs-137
element

農作物への移行-2

- 今後、新たな放出がなければ、問題はセシウム134とセシウム137である。(ヨウ素131は、減衰により現在はほとんど無くなっている。)
- 土壌中のセシウムは、数十年以上、地表にとどまる。
- セシウムは土壌に良く吸着するため，農作物への移行は比較的小さい。
- 土壌に沈着した放射性セシウムは,土壌表層に留まっている。(後述)したがって，汚染土壌の農作物への付着に注意が必要。
- 土壌に添加された放射性セシウムは，植物に吸収されやすい形態から,吸収されにくい形態に変化してゆく。したがって，1-2年は移行に注意が必要。

VERTICAL DISTRIBUTION IN SOIL BY JCAC



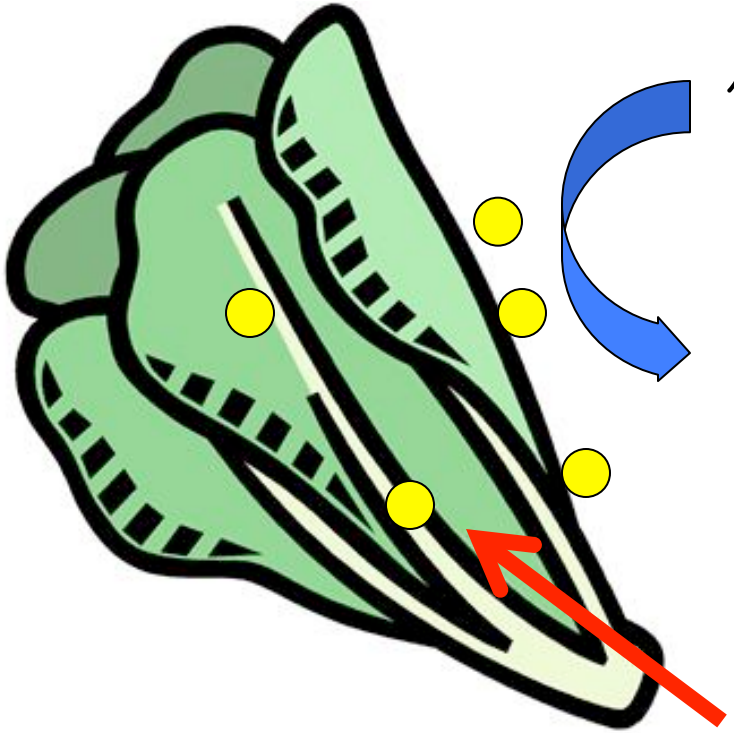
April 21, 2011

６．　放射能汚染：水と食料の安全

飲食物摂取制限に関する指標

対象	放射性核種濃度
放射性ヨウ素	
飲料水／牛乳・乳製品	≧300　Bq/kg （乳幼児：≧100 Bq/kg）
野菜類／魚類	≧2000　Bq/kg
放射性セシウム	
飲料水／牛乳・乳製品	≧200　Bq/kg
野菜類／穀類／肉・卵・魚・その他	≧500　Bq/kg
ウラン	
飲料水／牛乳・乳製品	≧20　Bq/kg
野菜類／穀類／肉・卵・魚・その他	≧100　Bq/kg
プルトニウムおよび超ウラン元素のアルファ核種	
飲料水／牛乳・乳製品	≧1　Bq/kg
野菜類／穀類／肉・卵・魚・その他	≧10　Bq/kg

放射性核種の除去：付着vs 吸収



付着した場合：洗えば落ちる。

ヨウ素30-90%

セシウムの場合
付着
水洗：80%，あく抜き：95%
⇅
吸収
水洗：40%，あく抜き：60%

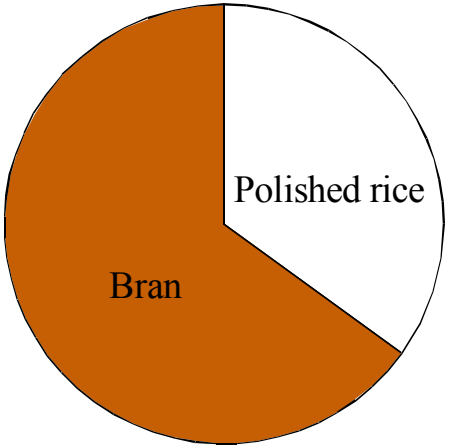
生長の過程で吸収された場合：
洗っても落ちにくい。
（ゆでこぼしたら、やや落ちる。）

「食品の調理・加工による放射性核種の除去率」（原子力環境整備センター）より

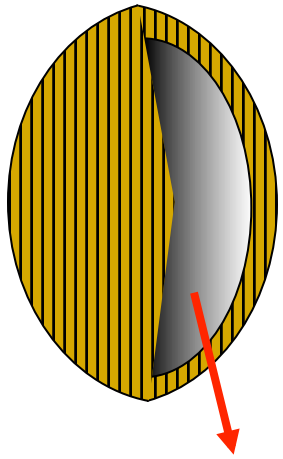
比 (白米 /玄米)

約0.35　（ ^{137}Cs）

約0.36　（ ^{90}Sr）

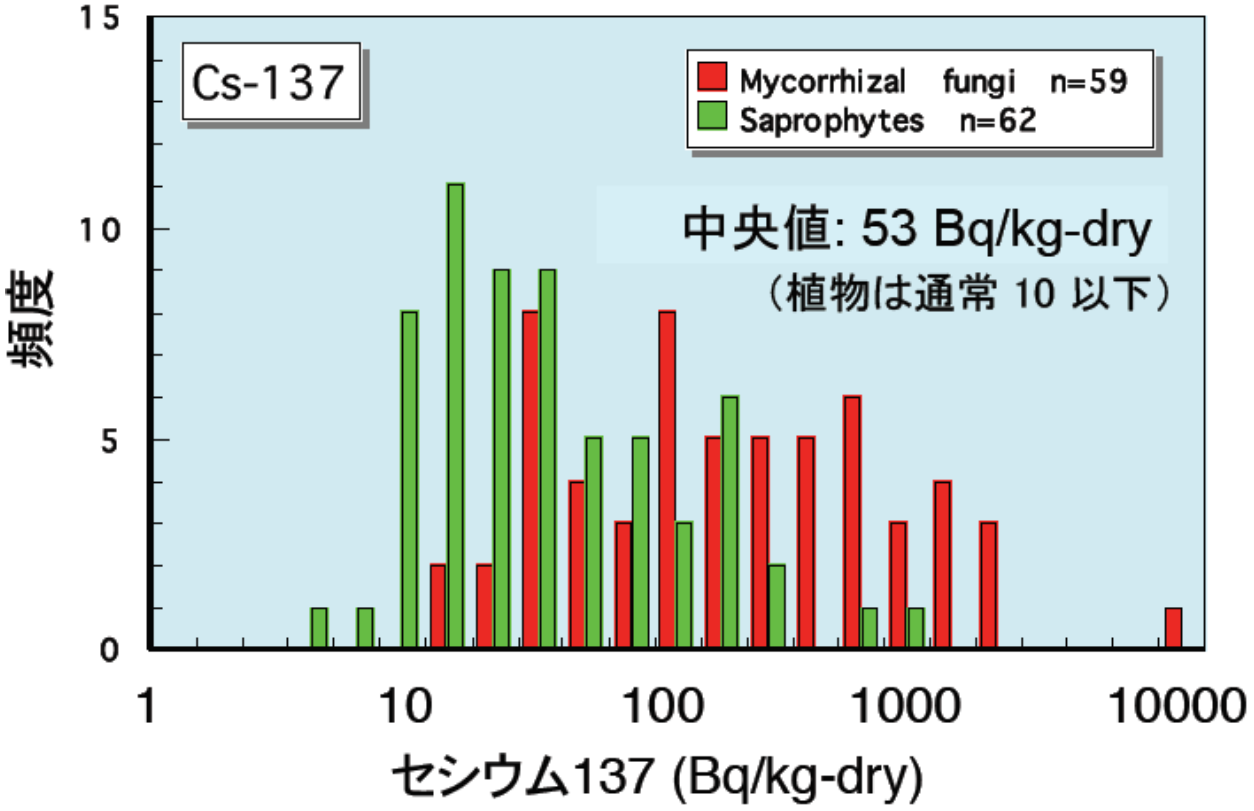


Cs-137 と Sr-90 の玄米中の分布



精米率: 90%
(by weight)

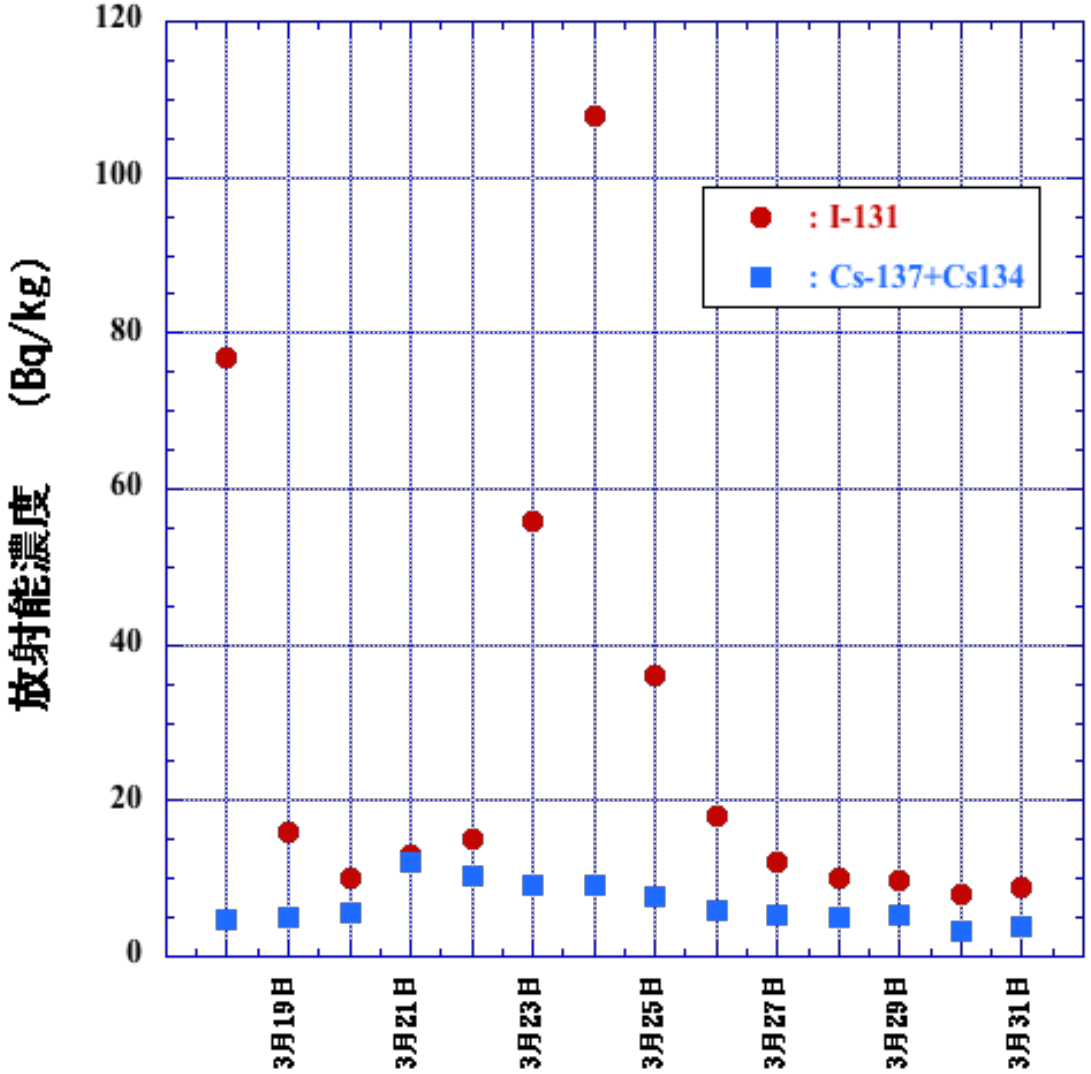
きのこ：元々セシウムを集め易い性質



図：1989-1991 年採取の日本のキノコ中の Cs-137 濃度
菌根菌（Mycrrhizal fungi）は腐生菌（Saprophytes）より濃度が高い傾向がある。このレポートでは、乾燥重量あたりの濃度で表示しているが、生重量あたりの場合は濃度はより低くなる。

（放医研　吉田、村松ら　1994）

上水中放射能濃度



保健環境センター〔松田新田浄水場（鬼怒川）から給水〕

まとめ

- 調理・加工において，皮をむく，洗う，煮る(ゆでる)ことである程度の減少は期待できる。
- I-131に関しては，減衰してしまうので今後大きな問題にはならない。
- 経根吸収により農作物に取り込まれた放射性セシウムは，直接経路で取り込まれた場合よりも，除染しにくい。
- 土壌が付着していると，汚染の原因となるため，十分取り除く（皮をむく，良く洗う）ことが大切。
- 上水の汚染に関しては，新たな大気放出がなければ，今後大きな問題とはならないと考えている。理由は，I-131は減衰してしまうこと，セシウムに関しては，土壌などに吸着しやすく，浄水場において補足されやすいため。

7. 今後の問題点

-未来に向けて私たちはどうしたら良いのか-

- 土壌修復
  - 表層土を(薄く)剥ぐ
  - 深く耕す
  - 客土等
- 農作物への移行
  - 0-2年程度の農作物への移行予測
- 灌漑水からの汚染
- 灌漑水への汚染
  - 微粒子が流出し，どこかに蓄積
- 加工食品の評価
- 森林内の汚染
  - キノコ・山菜・木材

ご清聴ありがとうございました。

原著論文リスト-1

- Yasuo Nakamaru, Keiko Tagami, Shigeo Uchida: Effect of phosphate addition on the sorption-desorption reaction of selenium in Japanese agricultural soils, ***Chemosphere***, **63**, 109-115, 2006.
- Yasuo Nakamaru, Keiko Tagami, Shigeo Uchida: Antimony mobility in Japanese agricultural soils and the factors affecting antimony sorption behavior, ***Environmental Pollution***, **141**, 321-326, 2006.
- Yasuo Nakamaru, Keiko Tagami, Shigeo Uchida: Effect of nutrient uptake by plant roots on the fate of REEs in soil, ***Journal of Alloys and Compounds***, **408/412**, 413-416, 2006.
- Nobuyoshi Ishii, Keiko Tagami, Shigeo Uchida: Removal of rare earth elements by algal flagellate Euglena gracilis, ***Journal of Alloys and Compounds***, **408/412**, 417-420, 2006.
- Keiko Tagami, Shigeo Uchida, Ikuko Hirai, Hirofumi Tsukada, Hiroshi Takeda: Determination of chlorine, bromine and iodine in plant samples by inductively coupled plasma-mass spectrometry after leaching with tetramethyl ammonium hydroxide under a mild temperature condition, ***Analytica Chimica Acta***, **570**, 88-92, 2006
- Nao Wakae, Nobuyoshi Ishii, Shuichi Shikano, Shigeo Uchida: The influence of paddy soil drying on Tc insolubilization by bacteria, ***Chemosphere***, **63**, 1187-1192, 2006.
- Nobuyoshi Ishii, Shigeo Uchida: Removal of techentium from solution by algal fllagelate Euglena gracilis, ***Journal of Environmental Quality***, **35**, 2017-2020, 2006.
- Keiko Tagami, Shigeo Uchida: Concentrations of chlorine, bromine and iodine in Japanese Rivers, ***Chemosphere***, **65**, 2358-2365, 2006.
- Yasuo Nakamaru, Nao Ishikawa, Keiko Tagami, Shigeo Uchida: Role of soil organic matter in the mobility of radiocesium in agricultural soils common in Japan, ***Colloids and Surfaces A*** : Physicochemical and Engineering Aspects, **306(1/3)**, 111-117, 2007.
- Shigeo Uchida, Keiko Tagami, Ikuko Hirai: Soil-to-plant transfer factors of stable elements and naturally occurring radionuclides: (1) Upland field crops collected in Japan, ***J. Nuclear Science and Technology***, **44** (4), 628-640, 2007.

原著論文リスト-2

- Shigeo Uchida, Keiko Tagami, Ikuko Hirai: Soil-to-plant transfer factors of stable elements and naturally occurring radionuclides: (2) Rice collected in Japan, ***J. Nuclear Science and Technology*, 44(5)**, 779-790, 2007.
- Shigeo Uchida, Keiko Tagami: Soil-to-crop transfer factors of radium in Japanese agricultural fields, ***Journal of Nuclear and Radiochemical Sciences*, 8(2)**, 137-142, 2007.
- Shigeo Uchida, Keiko Tagami: Soil-to-plant transfer factors of fallout ^{137}Cs and native ^{133}Cs in various crops collected in Japan, ***Journal of Radioanalytical and Nuclear Chemistry*, 273(1)**, 205-210, 2007.
- Nao Ishikawa, Keiko Tagami, Shigeo Uchida: Sorption kinetics of selenium on humic acid, ***Journal of Radioanalytical and Nuclear Chemistry*, 274(3)**, 555-561, 2007.
- 石川　奈緒、内田滋夫、田上　恵子: 放射性セシウムの水田土壌への収着挙動における粘土鉱物の影響、***Radioisotopes*、56(9)**、519-528、2007.
- Nao Ishikawa, Shigeo Uchida, Keiko Tagami: Distribution coefficients for ^{85}Sr and ^{137}Cs in Japanese agricultural soils and their correlations with soil properties, ***Journal of Radioanalytical and Nuclear Chemistry*, 277(2)**, 433-439, 2008.
- Keiko Tagami, Shigeo Uchida: Online stable carbon isotope ratio measurement in formic acid, acetic acid, methanol and ethanol in water by high performance liquid chromatography isotope ratio mass spectrometry, ***Analytica Chimica Acta*, 614(2)**, 165-172, 2008.
- Yasuo Nakamaru, Shigeo Uchida: Distribution coefficients of tin in Japanese agricultural soils and the factors affecting tin sorption behavior, ***Journal of Environmental Radioactivity*, 99(6)**, 1003-1010, 2008.
- Keiko Tagami, Shigeo Uchida: Determination of bioavailable rhenium fraction in agricultural soils, ***Journal of Environmental Radioactivity*, 99(6)**, 973-980, 2008.
- Nao Ishikawa, Keiko Tagami, Shigeo Uchida, et.al: Sorption behavior of selenium on humic acid under increasing selenium concentration or increasing solid/liquid ratio, ***Journal of Environmental Radioactivity*, 99(6)**, 993-1002, 2008.

原著論文リスト-3

- Nobuyoshi Ishii, Hiroyuki Koiso, Hiroshi Takeda, Shigeo Uchida: Environmental conditions for insoluble Tc formation in ponding water above a paddy field, ***Journal of Environmental Radioactivity***, **99**, 965-972, 2008.
- Keiko Tagami, Shigeo Uchida: Rhenium contents in Japanese river waters measured by isotope dilution ICP-MS and the relationship of Re with some chemical components, ***Journal of Nuclear Science and Technology, Suppl***. **6,** 128-132, 2008.
- Nao Ishikawa, Keiko Tagami, Shigeo Uchida: Estimation of ^{137}Cs Plant Root Uptake Using Naturally Existing ^{133}Cs, Journal of Nuclear Science and Technology, Suppl. 6, 146-151, 2008.
- 石川　奈緒、内田滋夫、田上　恵子、その他: 統計的手法による放射性ストロンチウムの土壌－土壌溶液分配係数推定手法開発の試み、***Radioisotopes***, **57(5),** 295-303, 2008.
- Nao Ishikawa, Shigeo Uchida, Keiko Tagami: Estimation of soil-soil solution distribution coefficient of radiostrontium using soil properties, ***Applied Radiation and Isotopes***, **67**, 319-323, 2009.
- Shigeo Uchida, Keiko Tagami: Transfer of radium-226 from soil to rice: A comparison of sampling area differences***, Journal of Nuclear Science and Technology***, **46(1)**, 49-54, 2009.
- Keiko Tagami, Shigeo Uchida: Radium-226 transfer factor from soils to crops and its simple estimation method using uranium and barium concentrations, ***Chemosphere***, **77(1)**, 105-114, 2009.
- C Gil-Garcia, Keiko Tagami, Shigeo Uchida, Miquel Vidal: New best estimates for radionuclide solid-iquid distribution coefficients in soils. Part 3: miscellany of radionuclides (Cd, Co, Ni, Zn, I, Se, Sb, Pu, Am, and others)***, Journal of Environmental Radioactivity***, **100(9)**, 704-715, 2009.
- Shigeo Uchida, Keiko Tagami, et.al: Uptake of radionuclides and stable elements from paddy soil to rice: a review, ***Journal of Environmental Radioactivity***, **100(9)**, 739-745, 2009.
- 石川　奈緒、田上　恵子、内田滋夫: 統計的手法を用いたストロンチウムの土壌-農作物移行係数の推定、***日本原子力学会和文論文誌,*** **8(4)**, 313-319, 2009.
- 田上　恵子、石井　伸昌、内田滋夫: 炭素安定同位体自然存在比を用いた水稲による土壌起源炭素吸収率及び炭素移行係数の推定、***Radioisotopes***、**58(10)**、641-648、2009.

原著論文リスト-4

- Nobuyoshi Ishii, Hiroyuki Koiso, Hiroshi Takeda, Shigeo Uchida: Partitioning of ^{14}C into Solid, Liquid, and Gas Phases in Various Paddy Soils in Japan, ***Journal of Nuclear Science and Technology***, **47(3)**, 238-243, 2010.
- 石川奈緒、内田滋夫、田上恵子: 農耕地土壌における放射性ニッケルの土壌ー土壌溶液分配係数ー統計的処理による分配係数推定の試みー、*日本原子力学会和文論文誌*、**8(2)**、95-101、2009.
- Keiko Tagami, Shigeo Uchida: Can elemental composition data of crop leaves be used to estimate radionuclide transfer to tree leaves?, ***Radiation and Environmental Biophysics***, **49**, 583-590, 2010.
- Keiko Tagami, Shigeo Uchida, Akira Takeda, Shin-ichi Yamasaki, Noriyoshi Tsuchiya: Estimation of plant unavailable iodine concentrations in agricultural fields, ***Soil Science Society of America Journal,*** **74,** 1562-1567, 2010.
- Nao Kamei-ISHIKAWA1, Shigeo UCHIDA, Keiko TAGAMI and Naoya SATTA: Soil Solution Ni Concentrations over which Kd is Constant in Japanese Agricultural Soils, ***J. Nucl. Sci. Technol***., **48**, 337-343, 2011.
- S. Uchida and K. Tagami: Iodine transfer from agricultural soils to edible part of crops. ***Radiochimica Acta*** (in press).