

排出放射性物質による環境放射能影響に関する調査 平成2年度から令和2年度までの成果

1) 背景	2～4
2) 調査項目別の概要と目標及び変遷	5～7
3) 研究開発の成果	8～25
4) これまでの成果の公開及びアウトカム	26～29
5) 今後の計画と期待されるアウトカム	30～33
6) 他機関との研究連携	34
7) 補足資料	35～44

六ヶ所村再処理施設の特徴と調査研究の必要性

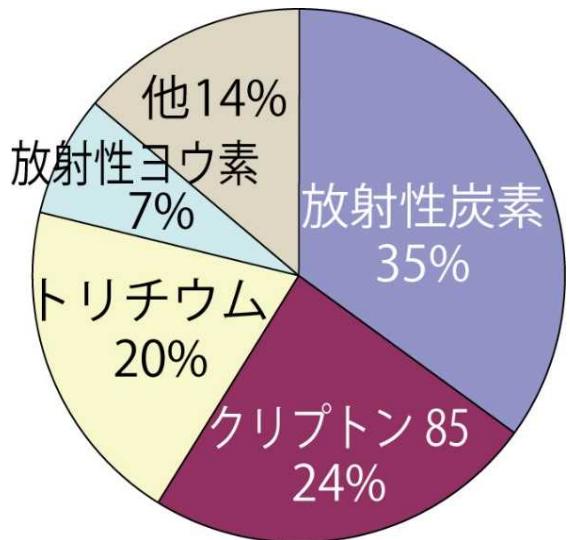
特徴

- 日本で最初かつ唯一の商用再処理施設。既に使用済み核燃料3,400トンが集積
- 食品摂取等を介した内部被ばくによる影響評価が重要となる、放射性炭素、トリチウム、放射性ヨウ素等を排出(資料1)
- 放射性物質の排出量が原子力発電所よりも多いことから(例:次のスライド)、放射性物質による環境汚染を住民が懸念(資料2)

調査研究の必要性

再処理施設の周辺地域への影響を調査し、住民の懸念払しょくに資する科学的情報を発信していく必要がある

資料1：核種別の被ばく線量への寄与率



平常線量評価結果合計: 約 $22\mu\text{Sv}/\text{年}$
(注)燃料を15年冷却とし、約 $14\mu\text{Sv}/\text{年}$ に変更

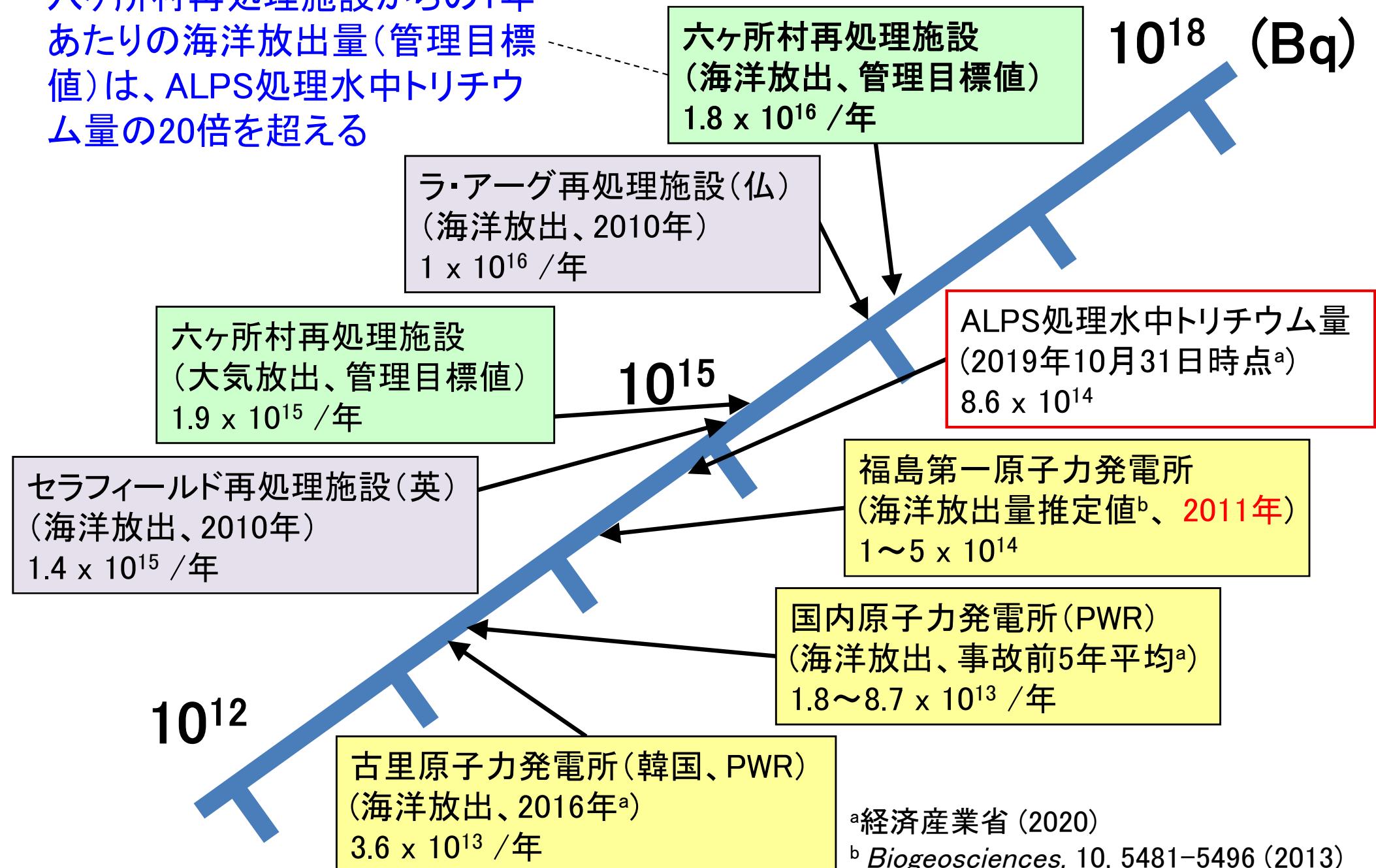
資料2：再処理施設への住民の懸念



中日新聞
2007年5月11日

再処理施設及び原子力発電所からのトリチウム放出量

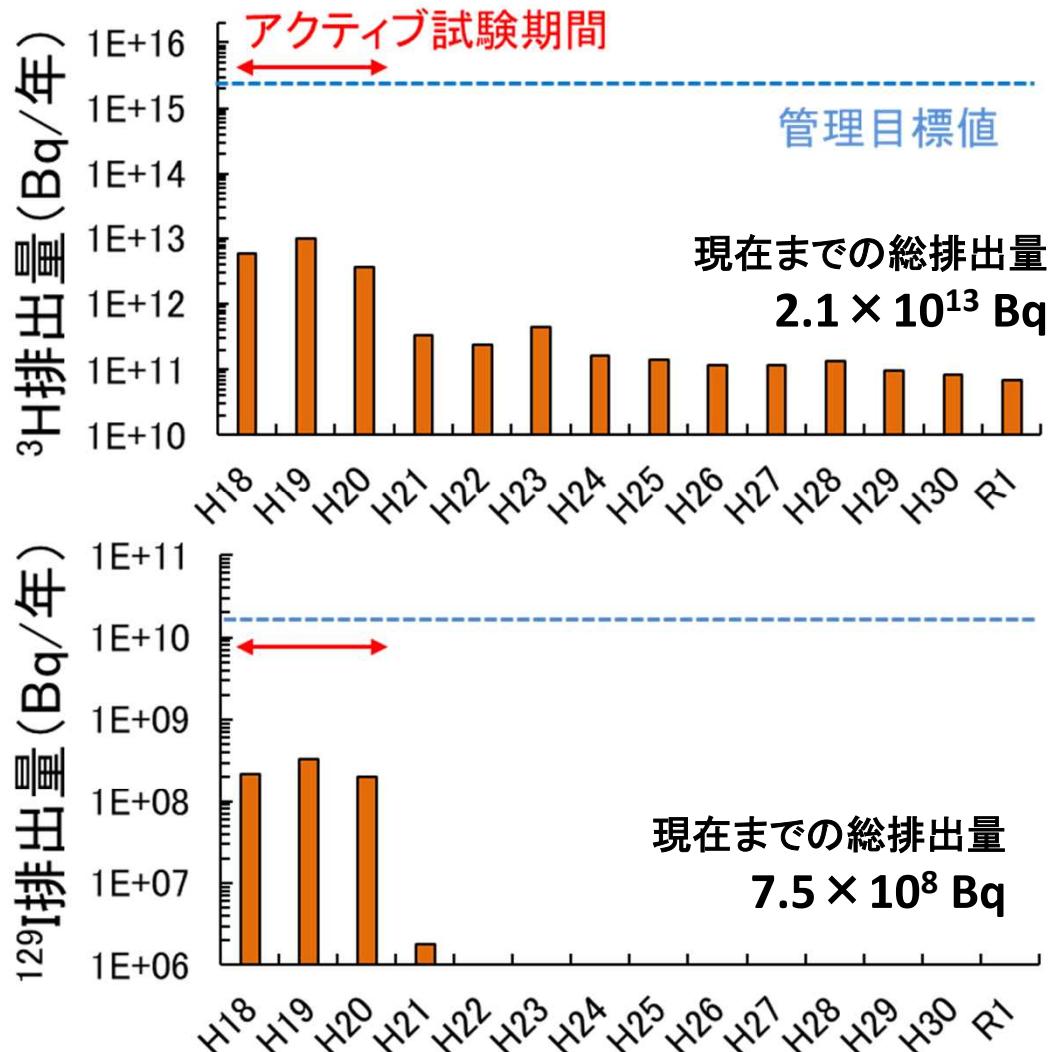
六ヶ所村再処理施設からの1年あたりの海洋放出量(管理目標値)は、ALPS処理水中トリチウム量の20倍を超える



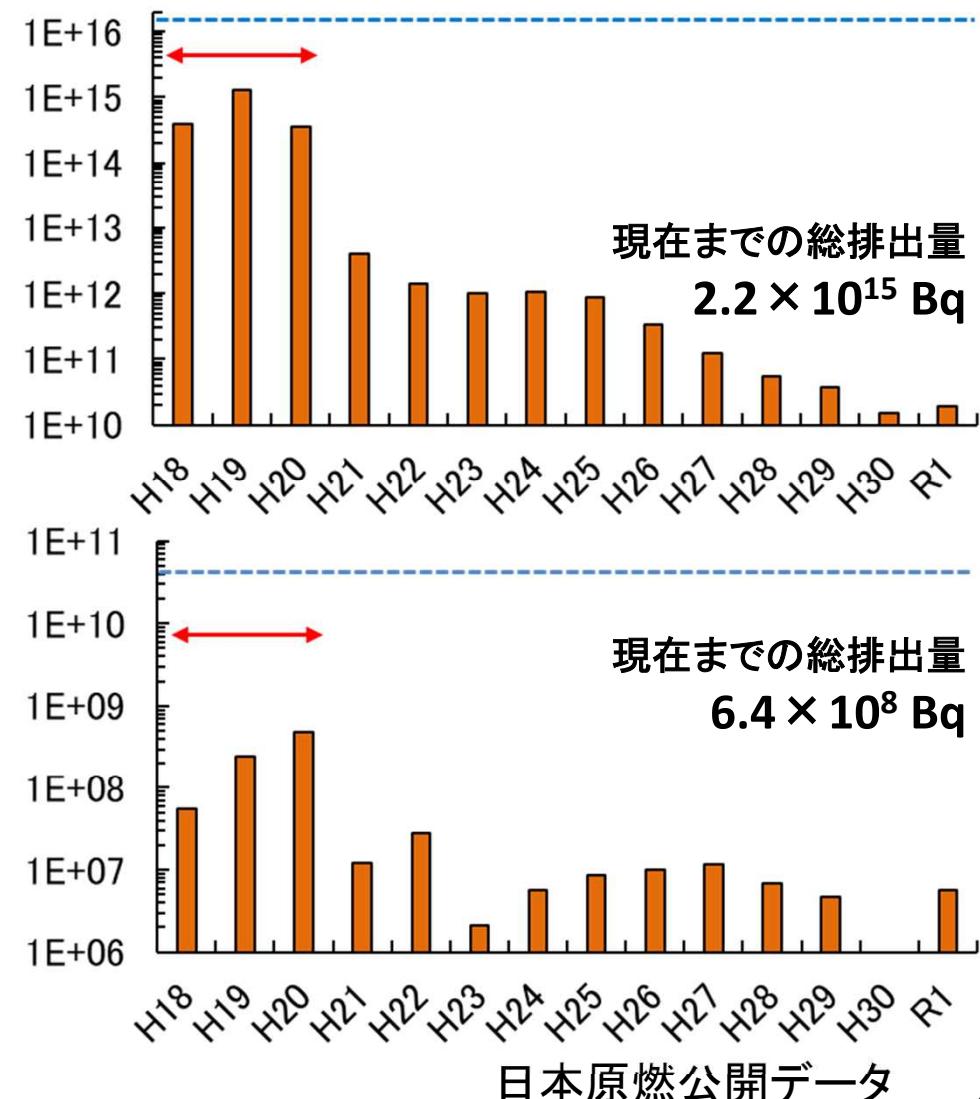
アクティブ試験における³H及び¹²⁹I排出量

日本原燃によるアクティブ試験(H18年3月～H20年10月)では、約425 t-Uの燃料が処理され、トリチウム(³H)及び放射性ヨウ素(¹²⁹I)等が環境中に管理排出された。

大気排出



海洋排出



調査項目別の概要と目標

調査項目(p.6)

- ①排出核種データ
- ②環境移行・総合評価モデル
- ③環境移行データ
- ⑤人工生態系物質移行データ

- ④作物への移行低減化手法

概要

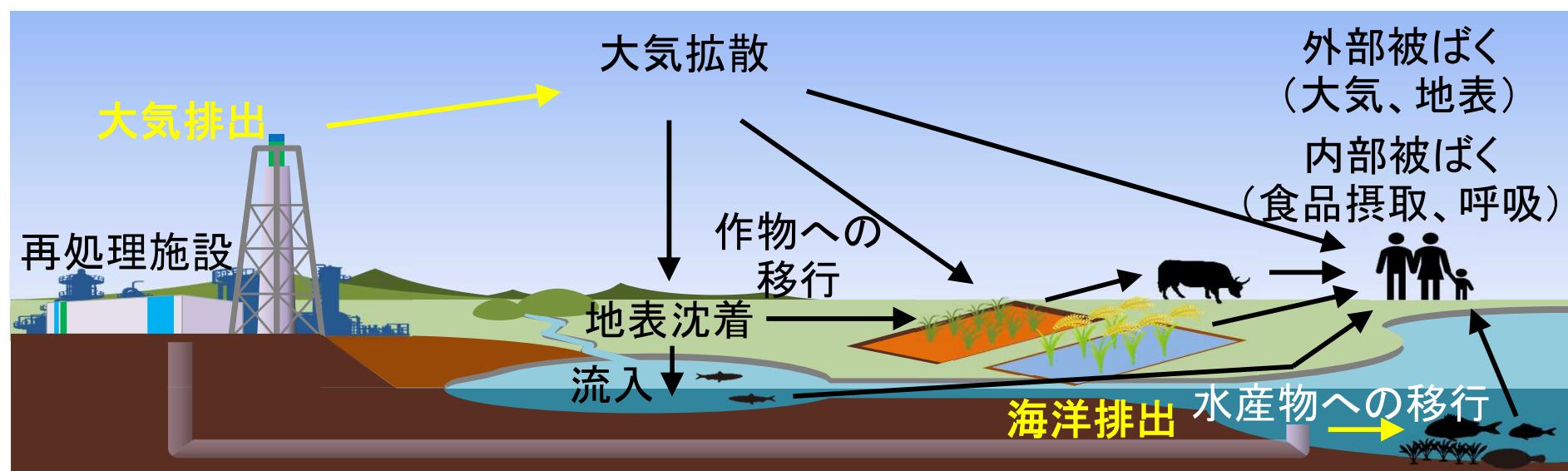
- 環境試料中排出放射性核種移行・分布
- 施設周辺の気象・移行経路に対応した環境移行・線量評価モデルの構築と検証
- モデル計算に使用する、立地条件に即した放射性核種の農畜水産物への移行パラメータの取得
- 内部被ばく線量評価に係る人体内代謝データ取得

- 土壤-作物間の放射性セシウム移行要因の実態把握

目標

放射性物質の環境移行シミュレーションに基づく現実的な被ばく線量評価により、地域住民の安心を醸成

県内の土壤特性に適した低減化手法の開発



環境研における環境放射能影響に関する調査の変遷

項目	年度						
		H2～H12	H13～H17	H18～H22	H23～H27	H28～R2	R3～R8
①排出核種データ		県内食品摂取量・自然放射線データ 23.9億円	バックグラウンドデータ 18.3億円	アクティブ試験データ	アクティブ試験後データ 福島事故に係る影響データ		
②環境移行・線量評価モデル				基本設計 16.9億円	モデルの構築 36.6億円	高度化と機能追加	大気・海洋排出放射性物質影響調査
③環境移行データ				作物(イネ、ダイコン、リンゴ、牧草など) 水産物(海藻、アワビ、ナマコ、ヒラメなど) 49.2億円	人体内代謝 7.2億円		トリチウム生体影響調査
④作物への移行低減化手法		放射性物質の形態間移行 10.8億円		各種移行係数・土壤分配係数 28.4億円	植物元素集積性 4.0億円	土壤浸透係数 4.6億円	放射性物質異常放出事後対応調査
⑤人工生態系物質移行データ		人工生態系構築 29.8億円	物質移行データ取得 22.1億円	閉鎖居住実験 10.6億円		トレーサ実験による基礎情報取得 6.9億円	
⑥施設整備		全天候型人工気象実験施設 閉鎖型生態系実験施設					

アクティブ試験: 使用済み核燃料のせん断・溶解処理試験(平成18年3月～平成20年10月)

主な排出核種データ取得項目

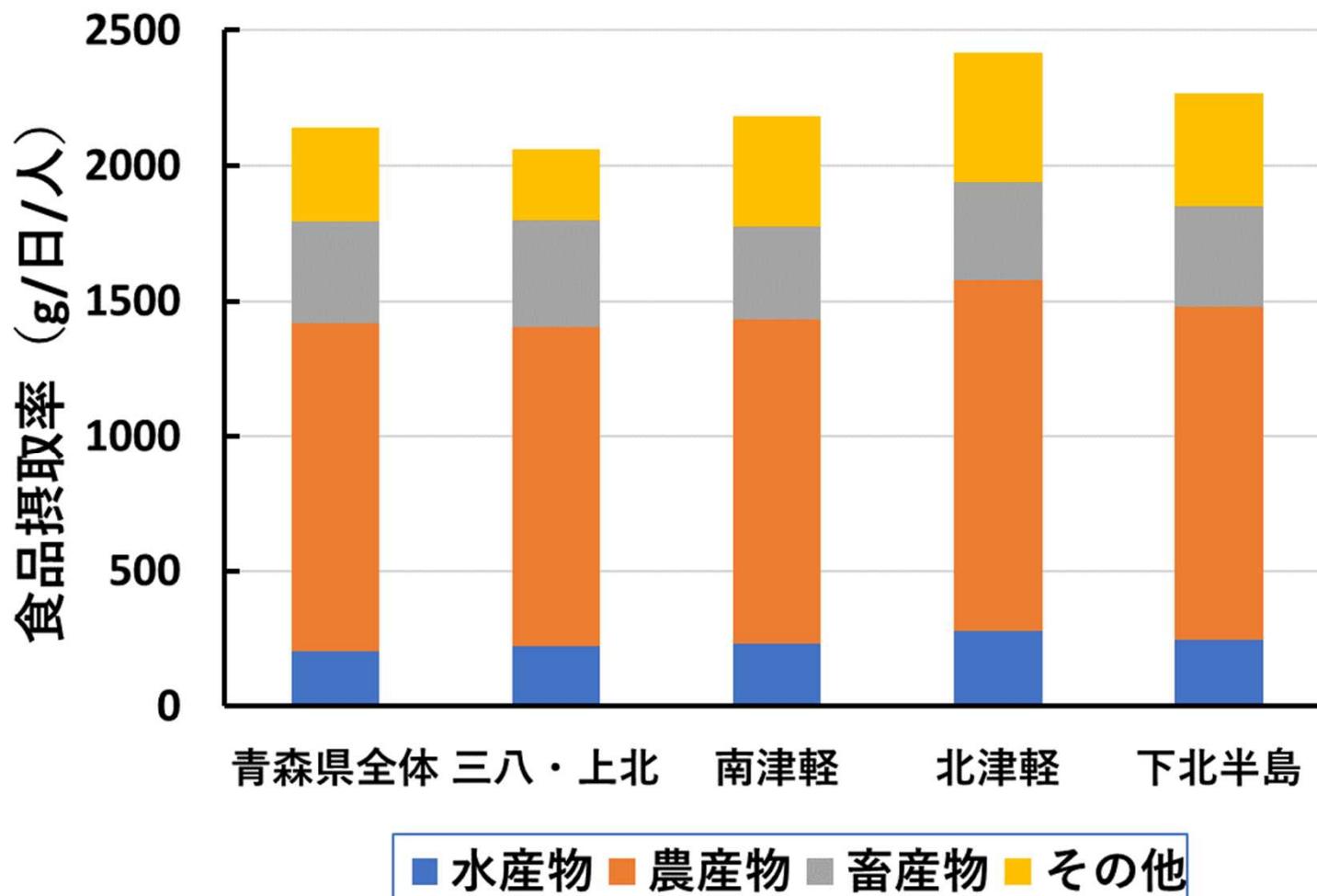
- 【取得の目的】 ➤ 環境試料及び食品中の排出放射性物質の水準の把握
➤ 環境中における排出放射性物質の移行及び蓄積実態の把握

	環境試料	測定核種	地点数	場所	回数
気圏	大気（化学形態別）	^3H , ^{14}C , ^{129}I , ^{85}Kr , ^{137}Cs	4	村内・弘前市	毎月
	降下物（雨・雪）	^3H , ^{14}C , ^{129}I , ^{137}Cs , U	4	村内・弘前市	毎月
陸圏	土壤	^3H , ^{14}C , ^{129}I , ^{137}Cs , Pu, U	3	村内・弘前市	年1
	植物（クロマツ、クマイザサ）	^3H , ^{14}C , ^{129}I	3	村内・弘前市	年2
	圃場（ダイコン、コメ、キャベツ、牧草、土壤）	^3H , ^{14}C , ^{129}I , ^{137}Cs , U	1	環境研構内	年3
水圏	河川水、地下水、湖沼水、海水	^3H , ^{14}C , ^{129}I , U	15	施設周辺水域	年2
	湖底及び海底堆積物	^3H , ^{14}C , ^{129}I , ^{137}Cs , Pu, U	5	施設周辺水域	年1
	河川浮遊砂	^3H , ^{14}C , ^{129}I	2	施設周辺水域	年2
	沼生物（ワカサギ、カキ、ヌマエビ、アマモ）	^3H , ^{14}C , ^{129}I , ^{137}Cs , U	2	施設周辺水域	年2
農畜水産物	農作物（コメ、キャベツ、ダイコン、ナガイモ、ゴボウ）	^3H , ^{14}C , ^{129}I , ^{137}Cs , ^{210}Po , U	各2	村内・青森市	年2
	水産物（ヒラメ、コンブ）	^3H , ^{14}C , ^{129}I , ^{137}Cs , ^{210}Po , U	3	村内・八戸市	年2
	牛乳	^3H , ^{14}C , ^{129}I , ^{137}Cs , ^{210}Po , U	3	村内・青森市	年2
	牧草	^3H , ^{14}C , ^{129}I , ^{137}Cs , U	3	村内・青森市	年2
	水道水	^3H	3	村内・青森市	年2
日常食	陰膳（一般5世帯）	^3H , ^{14}C , ^{129}I , ^{137}Cs , ^{210}Po , U	2	村内・青森市	年2

→ 取得したデータにより、環境移行・線量評価モデルを検証

①排出核種データ：県内食品摂取量(H3～H4)

食品摂取量は内部被ばく線量の評価に必要なデータであるが、時代や地域別の食習慣によって大きく異なる。そこで、青森県内において独自に調査を行い、地域に即した信頼性の高い食品摂取量データを取得した。



県内200世帯から 得たデータを環境 移行・線量評価モ デルに導入

成果の公開:

- 五代儀ら (1995) 保健物理 30, 337–344
五代儀ら (1996) 保健物理 31, 451–461
五代儀ら (2002) 保健物理 37, 143–152
五代儀ら (2002) 保健物理 37, 335–349

①排出核種データ：県内自然放射線データ(H2～H12)

大地からのガンマ線による被ばく線量の県内分布を初めて明らかにした(図1)。また、自然放射線による県民の被ばく線量を評価したこと(図2)、施設由来の放射性物質による被ばく線量と比較して、自然放射線の寄与が明らかに大きいことを科学的に理解するための情報を提供できた。

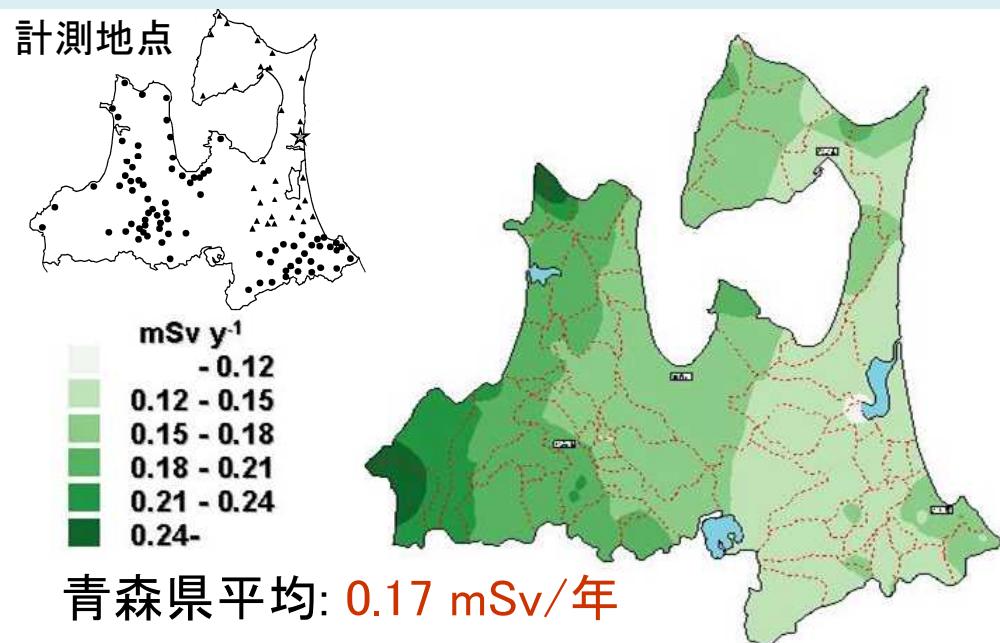


図1 大地からのガンマ線による被ばく線量の分布

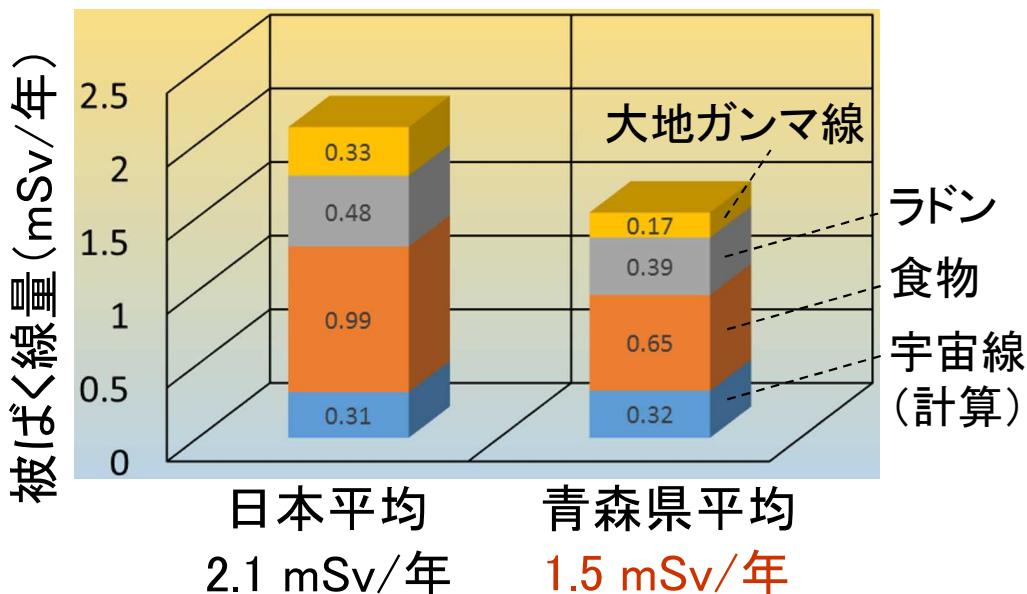


図2 自然放射線による被ばく線量

- 大地ガンマ線 : 県内109箇所、H4-H8計測(各年4回)
- ラドン : 県内107箇所、H8-H10計測(各年4回)
- 食物 : 六ヶ所村・青森市 : H18-22: 100世帯
(勤労50、漁業20、農業20、酪農10世帯)

成果の公開:

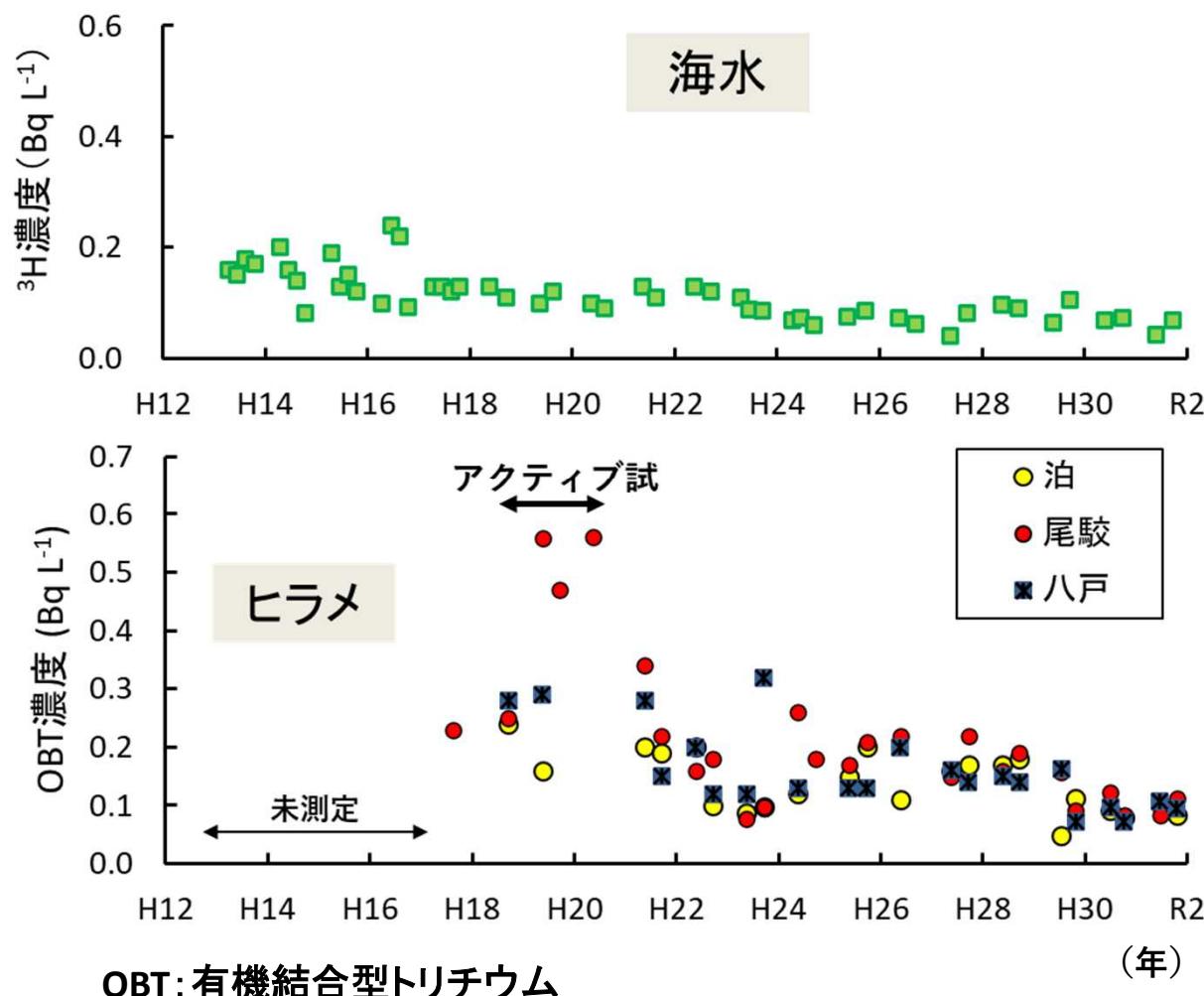
Iyogi et al. (2002) *Health Phys.* 82: 521–526.

Iyogi et al. (2003) *J. Environ. Radioactiv.* 67: 91–108.

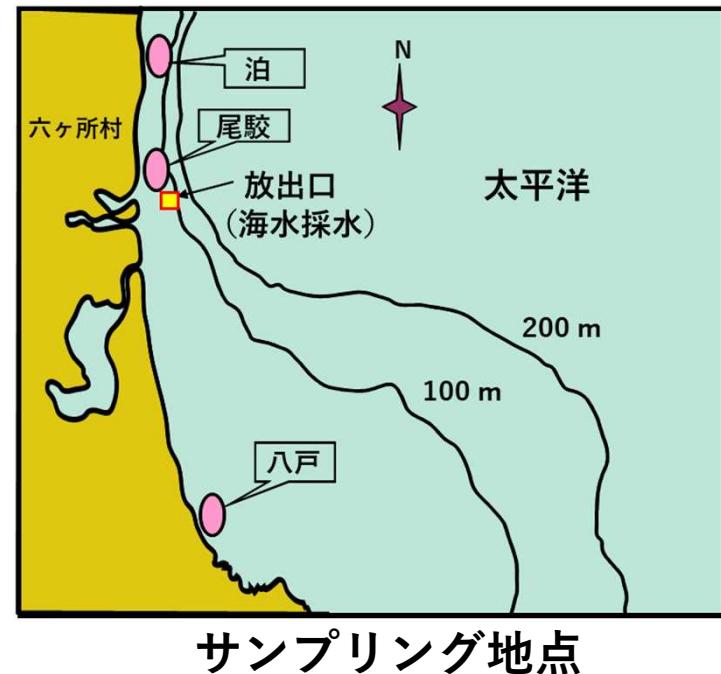
Ohtsuka et al. (2013) *Health Phys.*, 105: 340–350.

①排出核種データ：バックグラウンドデータ・アクティブ試験データ(H13～R2)

再処理施設の操業で排出される³Hの周辺水域への影響を明らかにするため、水準調査を実施している。その間、アクティブ試験時には沿岸海水には上昇が認められなかつたが、周辺で採取したヒラメでバックグラウンドと比べて一時的に上昇が認められた。これは、海水は移流拡散が早く希釈されやすいが、一方で、魚へ有機結合として取り込まれたトリチウムは速やかに下がらないため、その違いが出たと考えられる。また、線量換算しても影響のない極めて低いものであった。



- ▶ 海水及び魚の採取はそれぞれ3カ所を年間2回実施
- ▶ 測定核種： ${}^3\text{H}$ 及び ${}^{129}\text{I}$

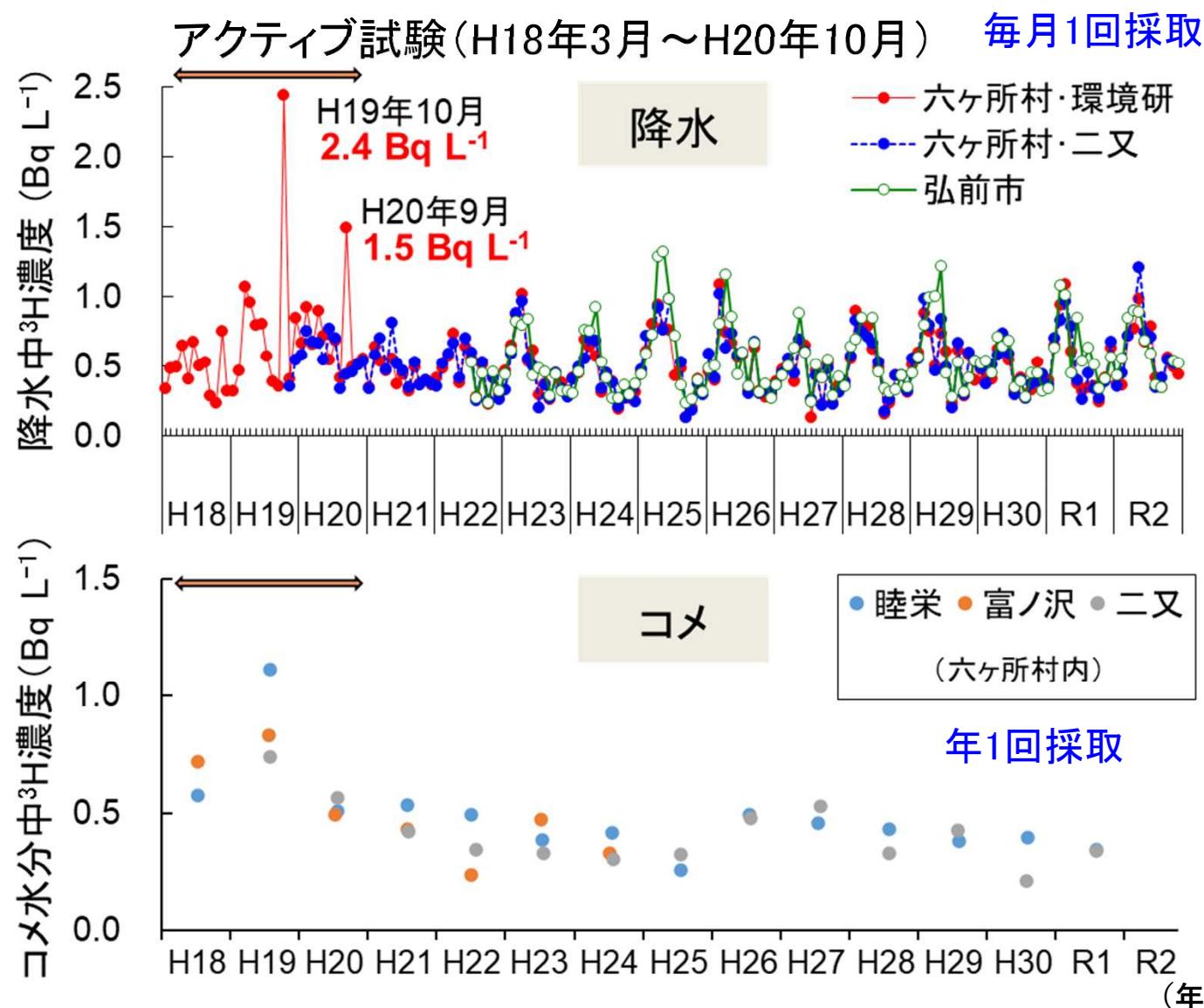


成果の公開：

Ueda et al. (2006) *J. Radioanal. Nucl. Chem.*, 267: 29–33.

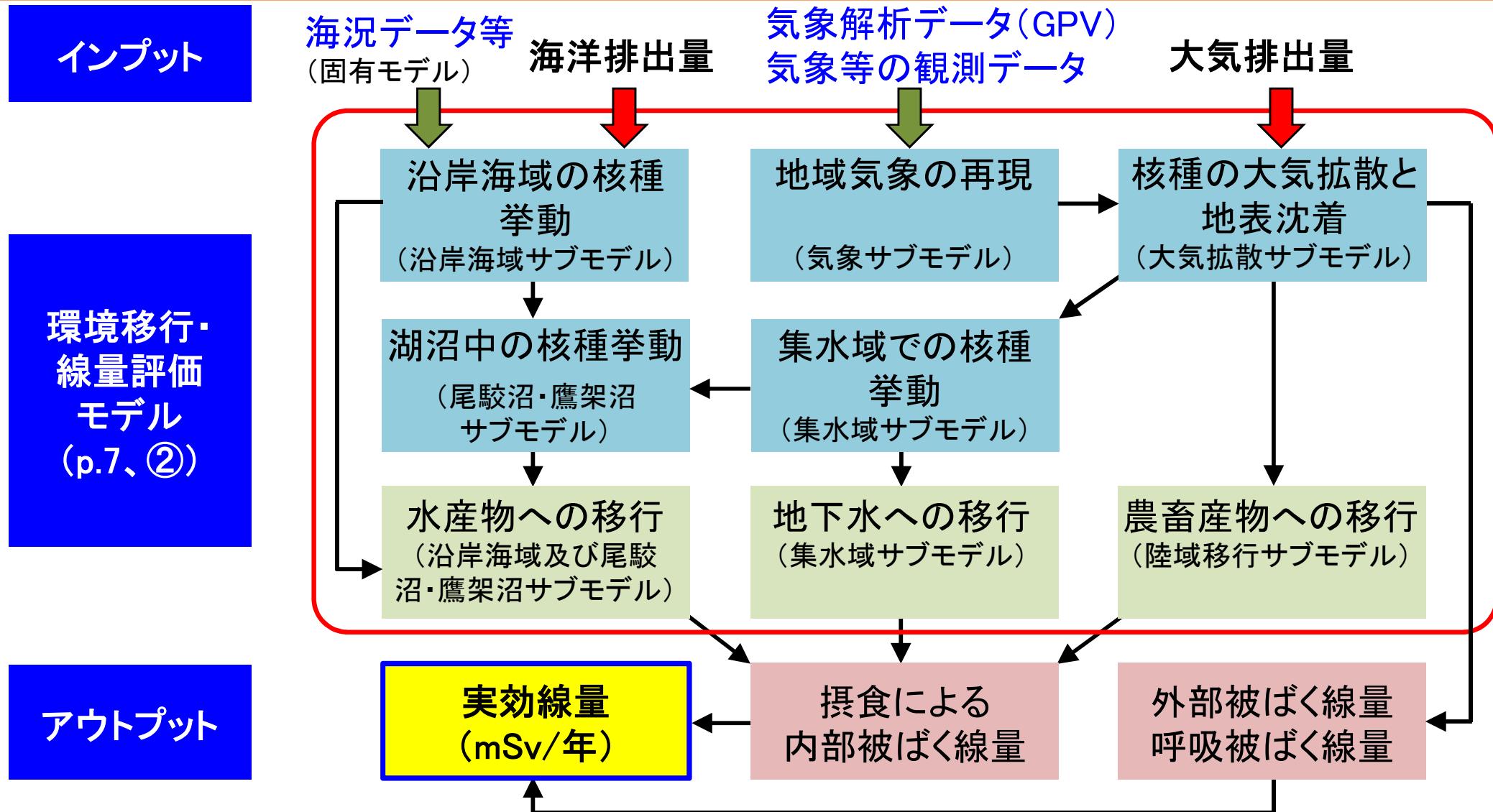
①排出核種データ：アクティブ試験データ(H18～R2)

大型再処理施設から大気排出される³Hの環境影響を評価するため、継続的にデータを取得してきた。アクティブ試験時には一時的な上昇は認められたが、ヒトへの被ばく線量を大きく上昇させるレベルではないことを住民に説明できる情報を得た。



成果の公開: Akata et al. (2011) *J. Environ. Radioactiv.*, 102: 837–842

②環境移行・線量評価モデル: 環境移行・線量評価モデルの構成

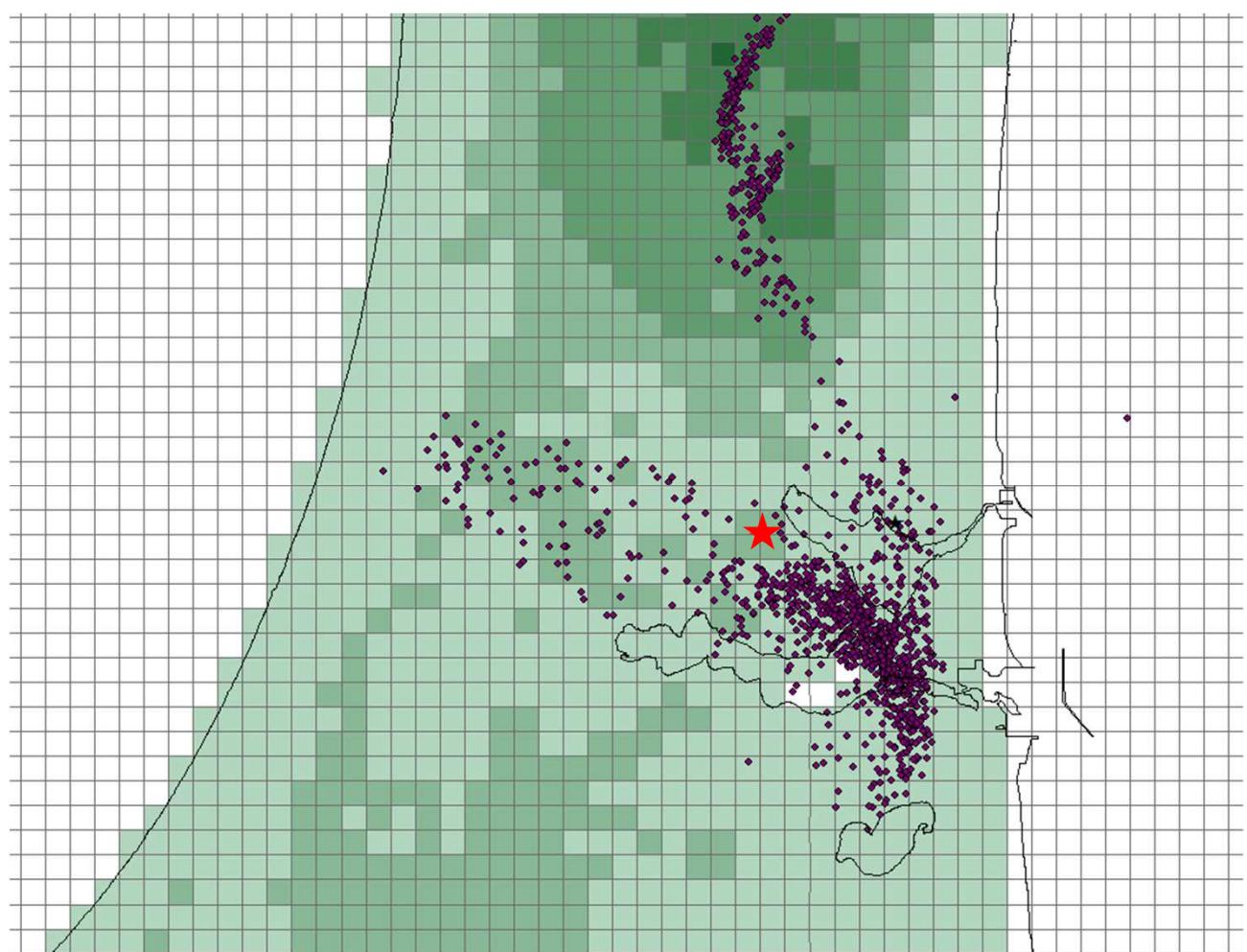


: インプットデータを用いて計算した大気、水、土壤中の放射性核種濃度を、**排出核種データ**(p.7、①)で取得した実測値と比較することでモデルを検証

: サブモデルで求めた大気、水、土壤中の放射性核種濃度と**環境移行データ**(p.7、③)を用いて、農畜水産物等の放射性核種濃度を計算

②環境移行・線量評価モデル：大気拡散計算(H18～R2)

モデルでは、再処理施設から平常運転時に排出される放射性物質による被ばく線量を評価するとともに、その過程で求めた放射性物質の分布を視覚的な情報として提供する。(下図は動画で示した大気拡散計算の結果の一例)



再処理施設（★）から排出された⁸⁵Kr（●）の地上高2 m以下における動き
(大気拡散計算では、放射性核種を図に示す仮想粒子として扱い、その移動を計算する。)

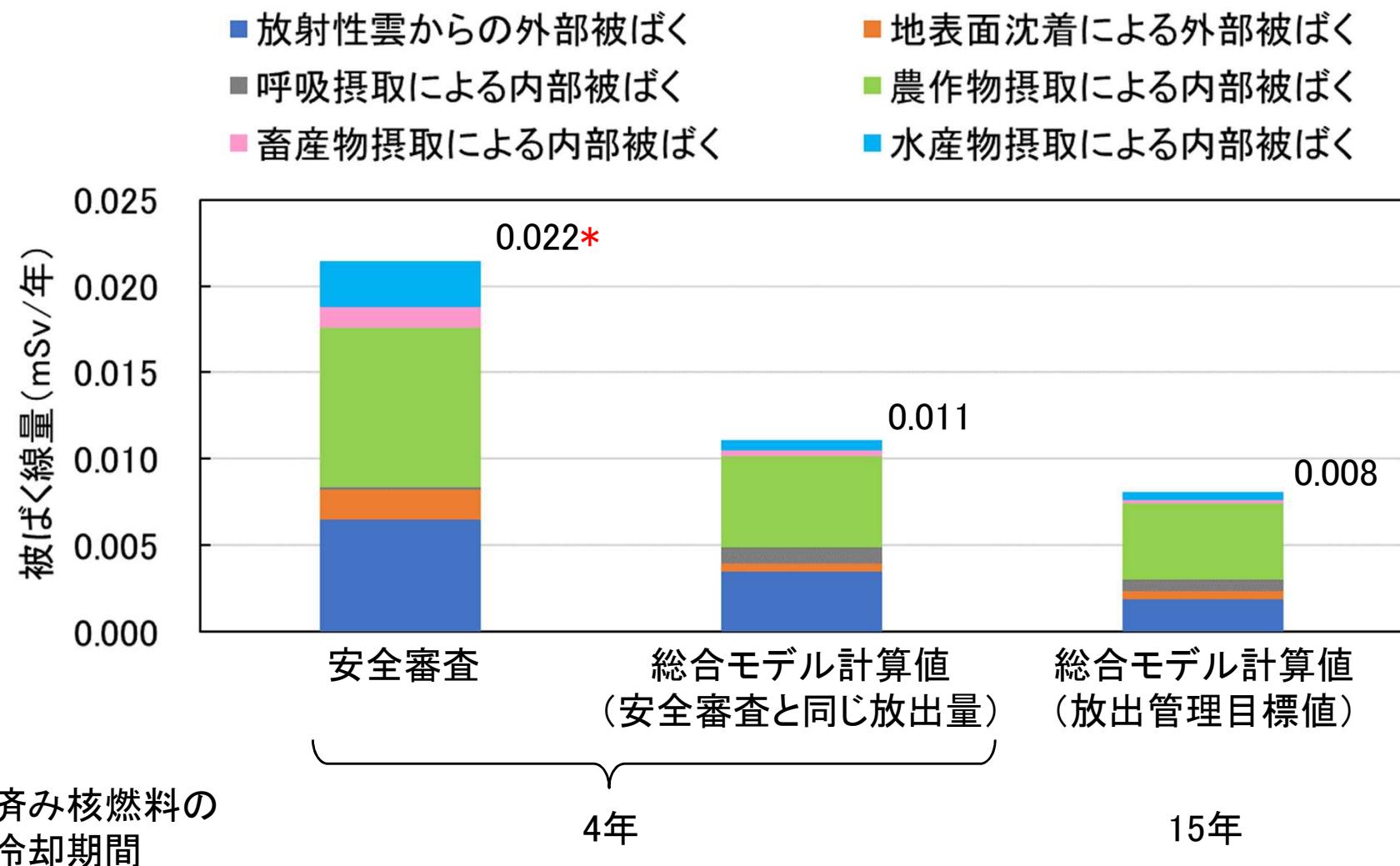
アクティブ試験期間中の平成19年10月26日1:00～2:50における10分毎の移流・拡散計算結果

成果の公開：

Abe et al. (2015) *Rad. Prot. Dosimetry*, 167: 331–335.

②環境移行・線量評価モデル：被ばく線量評価(H23～R2)

大型再処理施設から排出された放射性物質による被ばく線量を計算し、安全審査の値より低くなるという住民の安心醸成につながる結果を得た。



*自然放射線による青森県民の平均被ばく線量(1.5 mSv/年)の $\frac{1}{70}$

③環境移行データ：調査の概要

環境移行・線量評価モデルに用いるパラメータ(各過程の速度定数や係数など)について、フィールド調査と実験の両面からデータを取得した。

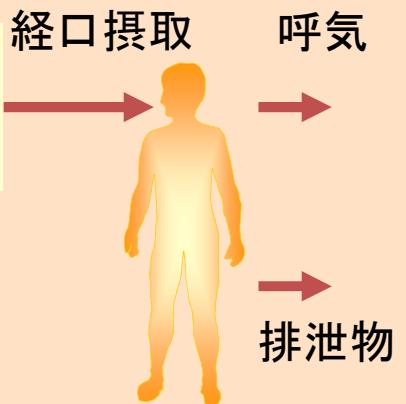
フィールド調査



実験

(一例)

重水素や炭素13を含む
栄養素と作物(同位体を
標識したコメ、大豆など)



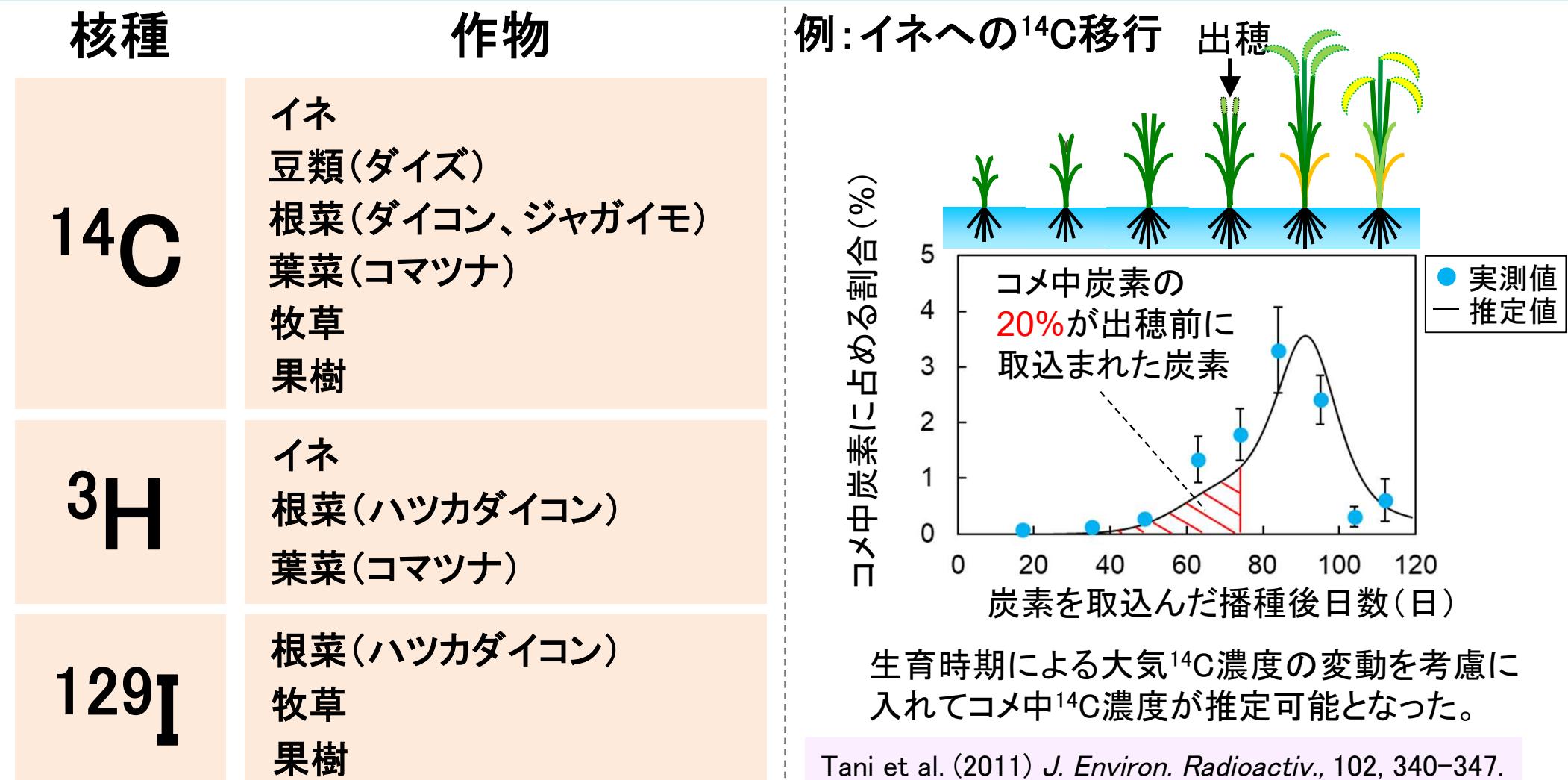
食べ物による吸収・排泄の
違いを調査

↓
現実的な被ばく線量を評価

放射性同位元素、安定同位元素を用いたトレーサ実験等により、県内の農水産物中放射性核種濃度のモデル推定に必要な移行データ及び人体内代謝データを取得

③環境移行データ：作物への移行(H18～R2)

安全審査で対象とされた作物類型及び県内の主要作物について、 ^{14}C 、 ^3H 、 ^{129}I の作物への移行データを、全天候型人工気象実験施設及び閉鎖型生態系施設内で安定同位元素等をトレーサとして取り込ませる栽培実験により取得し、施設操業後の作物中濃度の変動を科学的に理解するための情報を提供できるようにした。

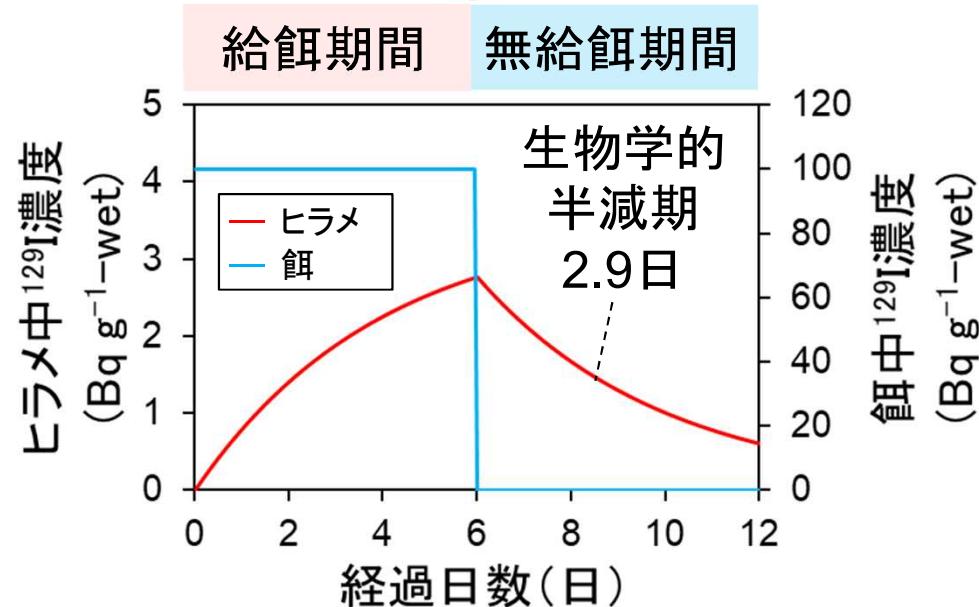
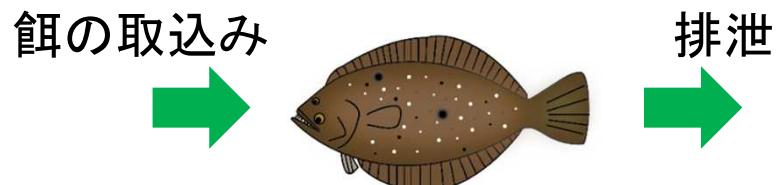


③環境移行データ：水産物への移行(H18～R2)

青森県の県魚であるヒラメ及び六ヶ所村沿岸海域に生息する海洋生物について、³H及び¹²⁹Iの移行データを、放射性同位元素及び安定同位元素トレーサとして取り込ませる飼育実験により取得し、核種の残留性について定量的に説明できるようにした。

核種	水産物
³ H	海藻 (アナアオサ)
	甲殻類 (モズミヨコエビ)
	棘皮動物(マナマコ)
	巻貝 (エゾアワビ)
	海水魚 (ヒラメ)
¹²⁹ I	海藻 (アナアオサ) (アカモク)
	棘皮動物(マナマコ)
	巻貝 (エゾアワビ)
	海水魚 (ヒラメ)

例：ヒラメへの¹²⁹I 移行

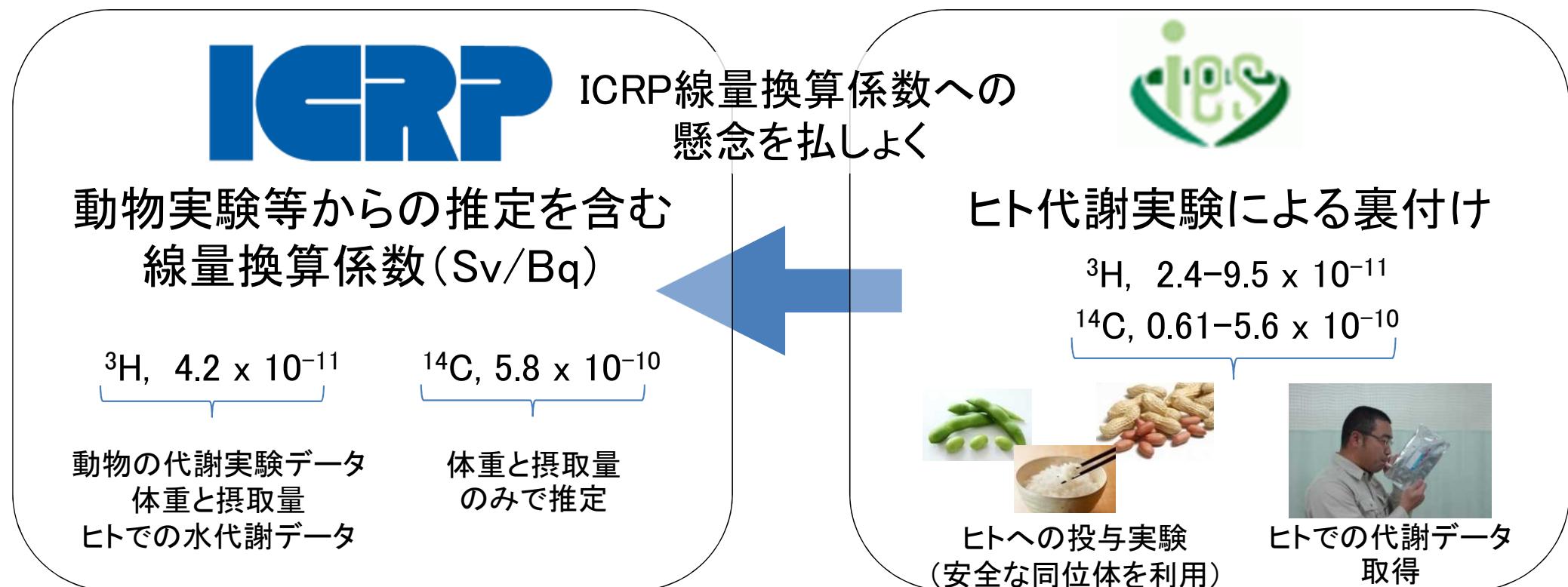


餌中濃度及び餌の取込みパターンに応じたヒラメ中¹²⁹I濃度の推定が可能となった。

Imai et al. (2020) *J. Environ. Radioactiv.*, 214–215, 106161.

③環境移行データ：人体内代謝(H22～R1)

有機態³H及び¹⁴Cの内部被ばく線量評価に使われるICRP線量換算係数については、ヒトでの実験的根拠の不足が懸念されてきたが、延べ人数200以上の代謝実験により懸念を払しょくする成果を得た。



ICRPの線量換算係数は、内部被ばく線量を概ね妥当(有機態³H)あるいは高め(¹⁴C)に評価していることを明らかにした

成果の公開: Masuda et al. (2016) *J. Radiol. Prot.*, 36: 532–546.
Masuda et al. (2020) *Sci. Rep.*, 10: 8156.
Masuda et al. (2021) *Sci. Rep.*, (in print)

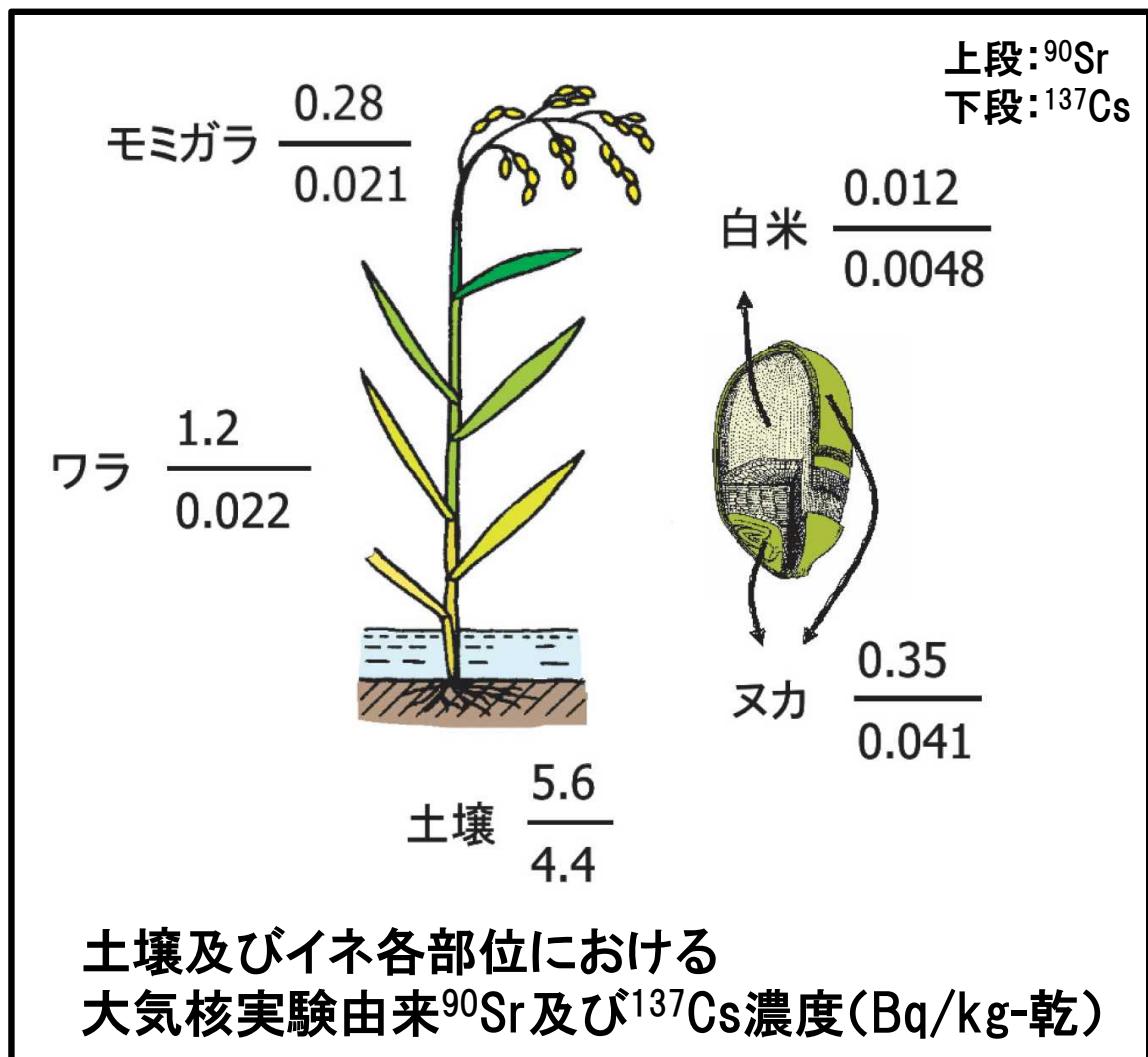
③環境移行データ：各種移行係数・土壤分配係数(H2～H12)

青森県内の土壤条件における作物への核種移行データ、及び六ヶ所村沿岸海域における海水から魚介類への核種移行データを取得し、排出放射性核種による被ばく線量評価に用いる各種係数について、評価対象地域に即した値を得ることができた。

成果の一例：

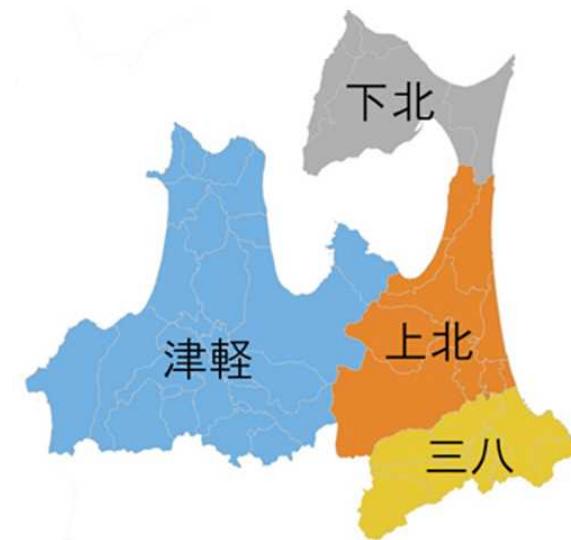
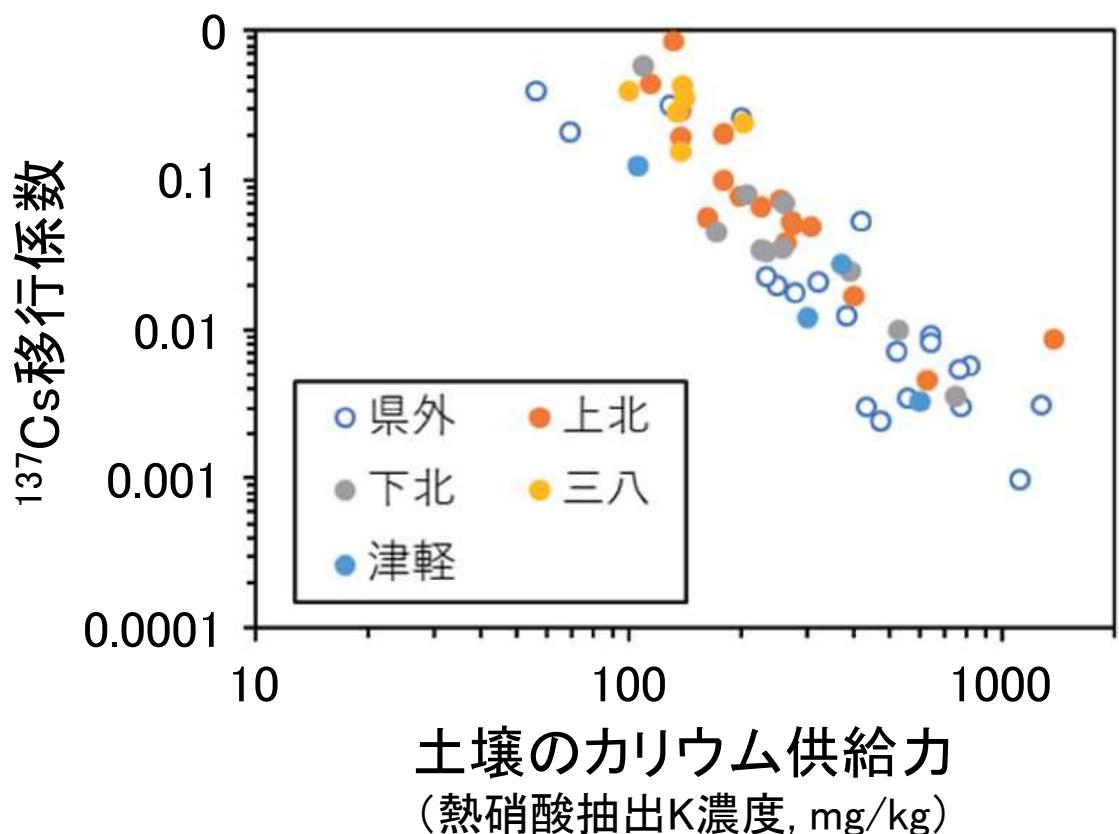
大気核実験由来の放射性核種(^{90}Sr 及び ^{137}Cs)等の測定により求めた、青森県内の農耕地における土壤—作物間移行係数

国際原子力機関(IAEA)の
Technical Report Series
No.472に土壤—白米間 ^{137}Cs 移行係数が引用された。



④作物への移行低減化手法(H28～R2)

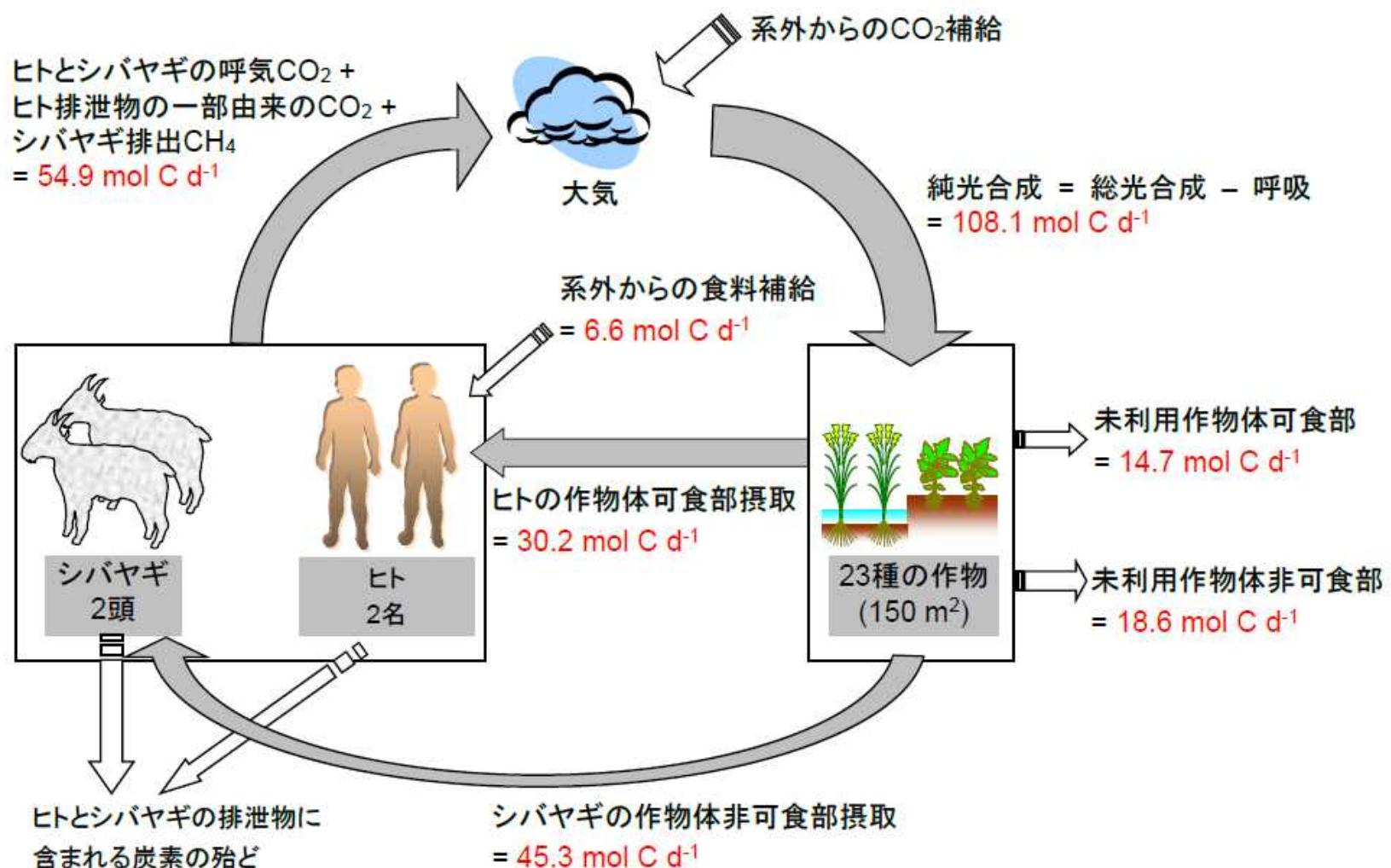
土壤から牧草への ^{137}Cs 移行係数は土壤のカリウム供給力が高いと小さくなり(下図)、カリウム施肥によって土壤のカリウム供給力を高めることで ^{137}Cs 移行が低減化されることを実験的に明らかにした。ただし、土壤によってはカリウム施肥が牧草のミネラル不均衡を引き起こし、飼料としての質が低下したことから、土壤特性に応じた移行低減化手法の選択が重要であることが明らかになった。



県内37地点及び県外21地点(岩手、宮城、福島、栃木)から採取した土壤試料を用いた栽培実験により得られた、土壤－牧草間 ^{137}Cs 移行係数と土壤中熱硝酸抽出カリウム濃度の関係

⑤人工生態系物質移行データ(H2~H19)

大気中を気体で移動し、光合成によって生態系の物質循環に組み込まれる放射性炭素(^{14}C)の挙動解明に資するため、工学的な物質循環技術を用いて閉鎖型生態系実験施設内に作物・家畜・ヒトで構成される人工生態系を構築し、作物の光合成及び収穫物を介した炭素移行データを取得した。



福島に係る調査：調査項目(H23～R2)

- 2011年3月11日の福島第一原子力発電所事故後、環境放射能を専門とする環境研のノウハウを活用した成果の還元を現地において行った
- 事故で放出された放射性核種の環境中挙動を追跡することによって、環境移行・線量評価モデルの精度向上に資するパラメータを得ることができた

①トリチウム(^3H)

^3H の環境移行研究に長けている環境研では、汚染地において ^3H の濃度水準及び動態などの実態把握に貢献した

- 河川水中 ^3H 濃度の経年変化
 - 植物中 ^3H 濃度測定による事故直後の
大気中 ^3H 濃度の推定
- …成果のアウトカム(p. 26、③)

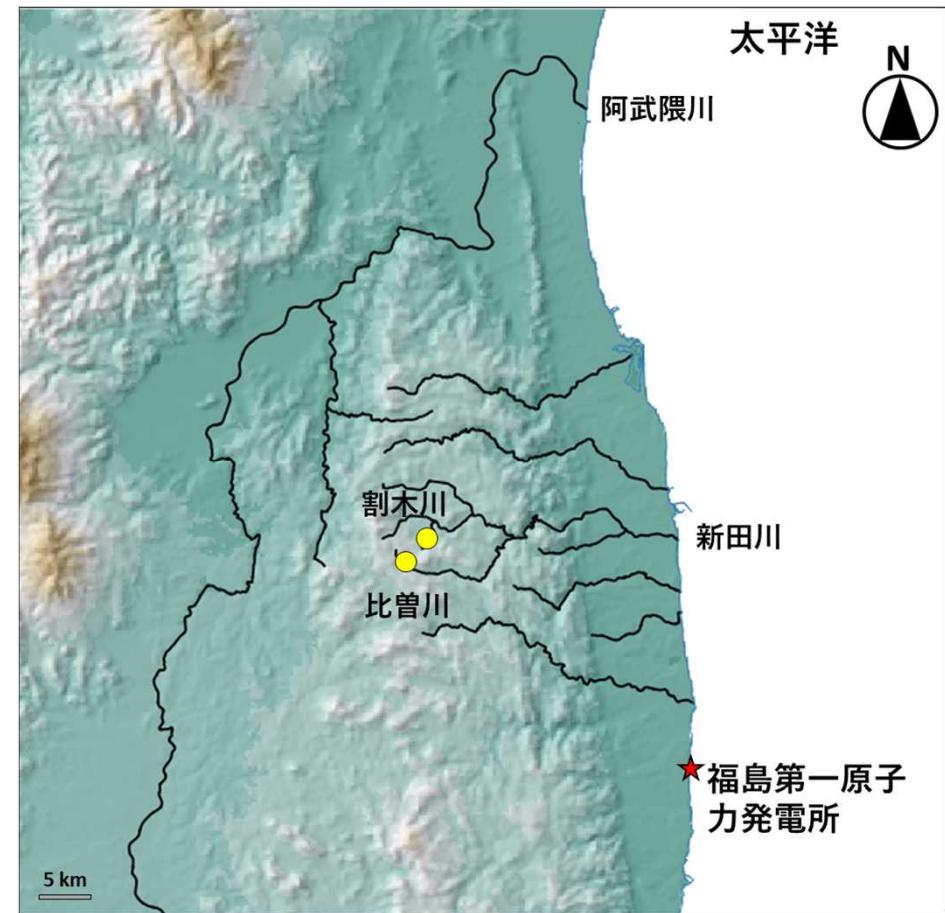
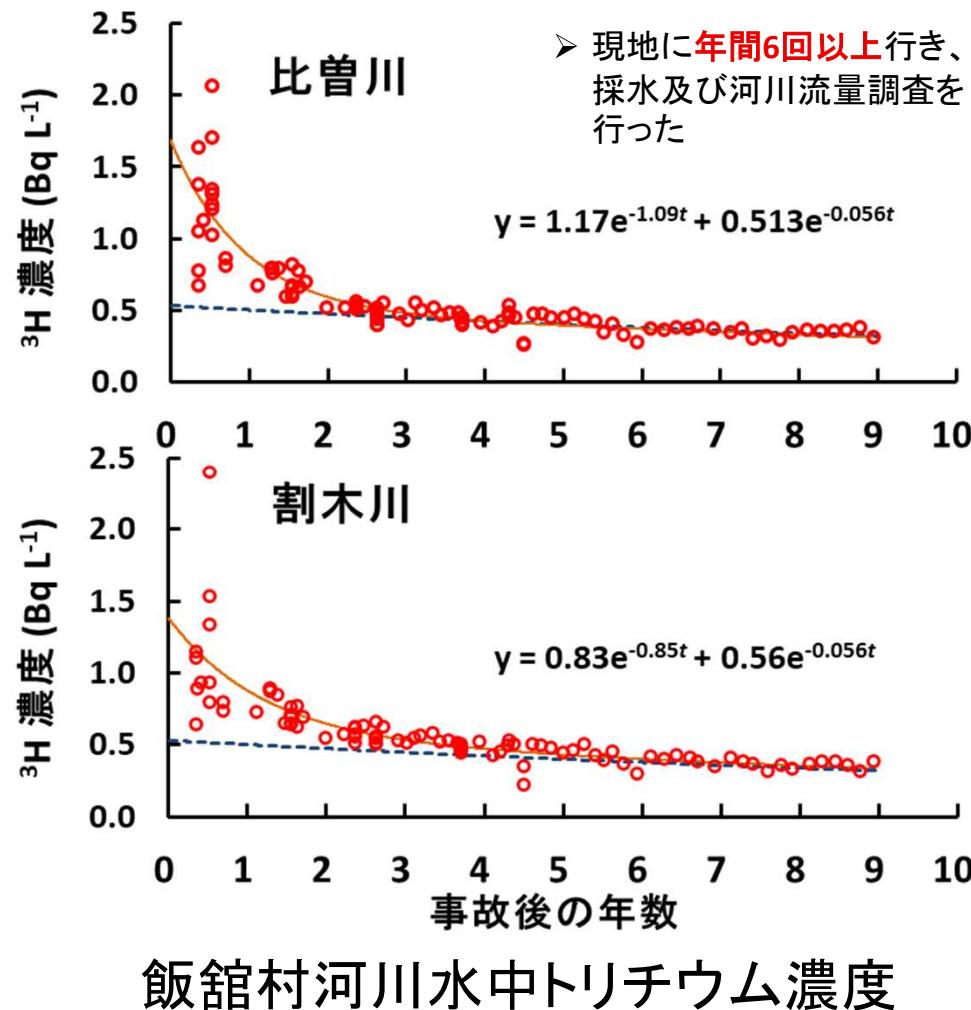
②放射性セシウム(^{137}Cs)

^{137}Cs の土壤-作物間移行に関する情報及び実験手法を有している環境研では、汚染地において ^{137}Cs の移行低減及び速やかな営農再開に資する情報を提供するとともに、測定技術を活用して環境中 ^{137}Cs の挙動把握に貢献した

- 土壤-作物間の ^{137}Cs 移行
 - 河川水中 ^{137}Cs 濃度の経年変化
 - 大気-土壤間の ^{137}Cs 移行(再浮遊率)
- …成果のアウトカム(p. 26、②)

福島に係る調査：河川水中³H濃度の経年変化

事故後の河川水中³H濃度はバックグラウンドレベルの4~5倍であったが、2~3年後には元に戻ることを実測値に基づいて報告した。流域の³Hが河川水から速やかに減少する知見は六ヶ所村においても適用でき、住民の安心醸成に資する知見が得られた。



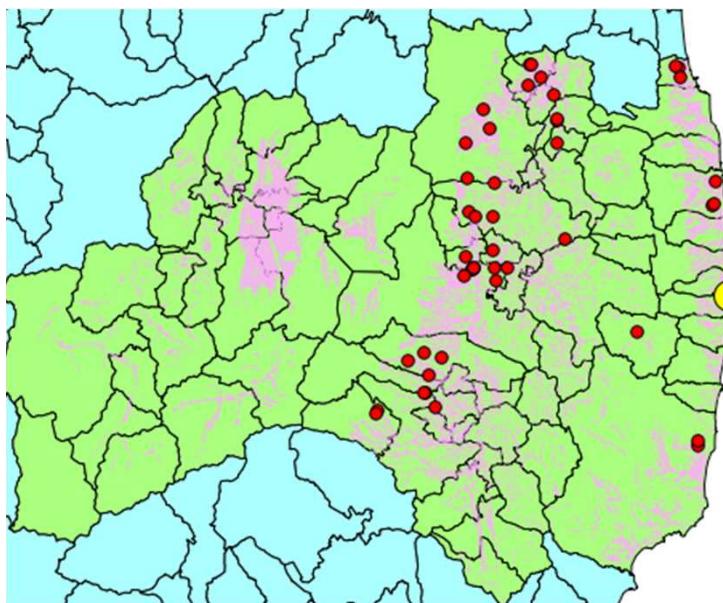
サンプリング地点(原発から37~38 km)

➤ 本成果は、事故による河川水中トリチウム移行の参考データとして、Takahataら(2018)を含む14報の論文に引用された

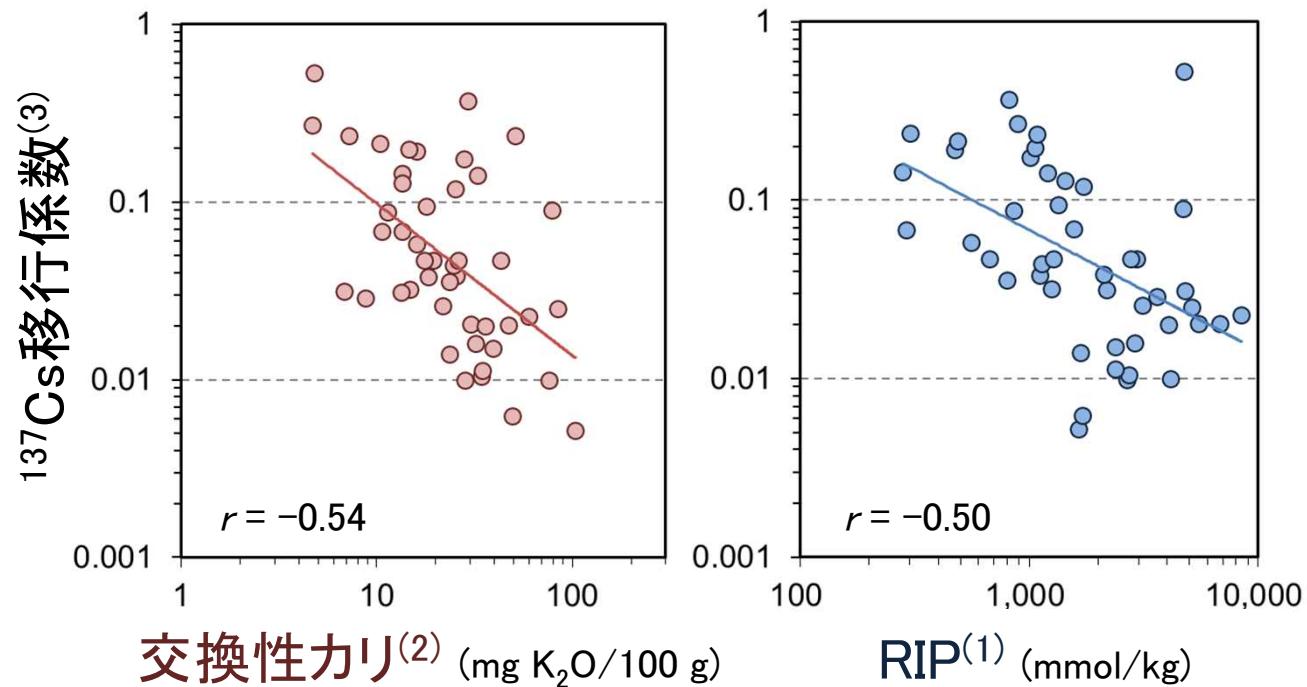
成果の公開: Ueda et al. (2015) *J. Environ. Radioactiv.*, 146: 102–109.

福島に係る調査：土壤-作物間の¹³⁷Cs移行解明

原発事故後、福島県内では比較的高い¹³⁷Cs濃度のダイズが収穫された。当時国内で環境研のみが分析可能であった土壤のCs固定力(RIP)を地点別に明らかにして、交換性カリの施用が移行低減化に有効な地点を判別するための情報を、福島県農業総合センター・農研機構と連携して取得した。



- 福島第一原子力発電所
- 2011年に収穫されたダイズと土壤試料の採取地点



(1) RIP (放射性セシウム捕捉ポテンシャル): 土壤のCs固定力の指標

(2) 交換性カリ: 土壤中で植物が吸収可能なカリウム

$$(3) \text{Cs移行係数} = \frac{\text{ダイズ中}^{137}\text{Cs濃度 (Bq/kg)}}{\text{土壤中}^{137}\text{Cs濃度 (Bq/kg)}}$$

成果の公開: Takeda et al. (2014) *J. Environ. Radioactiv.* 137: 119–124.

福島事故後の計測の貢献

環境研では、福島第一原子力発電所事故後、行政・研究機関の要望で試料の放射性物質(^{134}Cs 、 ^{137}Cs など)の計測に貢献してきた(下表)。事故当時は、Ge半導体検出器による計測が正確にできる機関が少なかったため、当所への依頼が絶えなかった。

依頼機関	依頼年	試料の種類	試料数
六ヶ所村	H23	水道水	9
青森県水産振興課	H23	イカ	1
青森県畜産課	H23 - H24	原乳・牧草	106
青森県林政課	H23	シイタケ原木（鋸屑）	1
八戸市水道局	H23	水道水・汚泥	50
弘前大学	H23	水・土壤・エアロゾル・植物	38
岩手県畜産課	H23	牧草・生乳・土壤・肉	410
岩手県教育委員会	H23	プールの水	12
福島県農業総合センター	H23	土壤・野菜	28
宮城県畜産試験場	H23	土壤・牧草	95
海洋研究開発機構 (JAMSTEC)	H23	海水	2
日本原子力研究開発機構 (JAEA)	H23 - H29	土壤	2336
合計			3088

調査成果の学術論文への公開

環境影響研究部では、調査研究の成果を国内外の学術雑誌へ全428報、公開している。主な成果と論文、引用件数を以下に、また全リストは配布資料に示した。

著者	論文名	雑誌名	掲載年	引用件数
1) Tsukada et al.	Transfer of ¹³⁷ Cs and stable Cs from paddy soil to polished rice in Aomori, Japan	J. Environmental Radioactivity	2002	112
2) Iyogi et al.	Environmental gamma-ray dose rate in Aomori Prefecture, Japan	Health physics	2002	37
3) Akata et al.	Tritium concentrations in the atmospheric environment at Rokkasho, Japan before the final testing of the spent nuclear fuel reprocessing plant	J. Environmental Radioactivity	2011	27
4) Kakiuchi et al.	Concentration of ³ H in plants around Fukushima Dai-ichi Nuclear Power Station	Scientific Reports	2012	18
5) Ueda et al.	Fluvial discharges of radiocaesium from watersheds contaminated by the Fukushima Dai-ichi Nuclear Power Plant accident, Japan	J. Environmental Radioactivity	2013	120
6) Takeda et al.	Time-dependent changes of phytoavailability of Cs added to allophanic Andosols in laboratory cultivations and extraction tests	J. Environmental Radioactivity	2013	39
7) Ueda et al.	Iodine-129 in water samples collected adjacent to a spent nuclear fuel reprocessing plant in Rokkasho, Japan	J. Radioanalytical and Nuclear Chemistry	2015	10
8) Hasegawa et al.	Regional and global contributions of anthropogenic iodine-129 in monthly deposition samples collected in North East Japan between 2006 and 2015	J. Environmental Radioactivity	2017	15
9) Ohtsuka et al.	²⁴⁰ Pu/ ²³⁹ Pu and ²⁴² Pu/ ²³⁹ Pu atom ratios of Japanese monthly atmospheric deposition samples during 1963–1966	Scientific Reports	2019	2
10) Masuda et al.	Estimation of radiation dose from ingested tritium in humans by administration of deuterium-labelled compounds and food	Scientific Reports	2021	0

これまでの成果のアウトカム：(1)県民への成果報告

大型再処理施設の周辺環境への影響に対する県民の不安や疑問に応えることを目的として、平成19年より毎年講演会方式で開催している成果報告会において調査成果を発表してきた。以下、農水産物及び人体への移行に関する発表例を示す。

- ① 玄米においては又力にセシウムが移行しやすいという、**土壤からイネへのセシウムの移行**についての理解に役立つ定量的な情報を提供(平成23年)
- ② アワビ体内に移行し有機物に結合した³H量は約100日で半減するという、**六ヶ所村の水産物**である**アワビ中³Hの残留性**を表す具体的な数値を報告(平成26年)
- ③ イネでは出穂直後の乳熟期に光合成で取り込まれた³Hが残留しやすいという、施設稼働後の大気とコメの³H濃度の関連性の理解に有用な情報を提供(平成27年)
- ④ 土壤から作物への**セシウム移行低減化手法**の開発について発表し、蒸散抑制剤等の効果についての情報を提供(平成29年)
- ⑤ 食品中¹⁴C摂取量から**内部被ばく線量**を計算するための換算係数が、科学的に妥当であり安心できるものであることを、人体内代謝実験データを用いて説明(令和元年)
- ⑥ 光合成で取り込まれた¹⁴Cと³Hは植物の枯死によって土壤に入るが、施設稼働後に天然レベルの変動幅を超えた**土壤への蓄積**は起こりにくいという予測結果を提示(令和2年)

これまでの成果のアウトカム：(2)国際機関による引用

研究成果が評価され、国際原子力機関(IAEA)及び原子放射線の影響に関する国連科学委員会(UNSCEAR)の報告書に引用された。以下にその全数を示す。

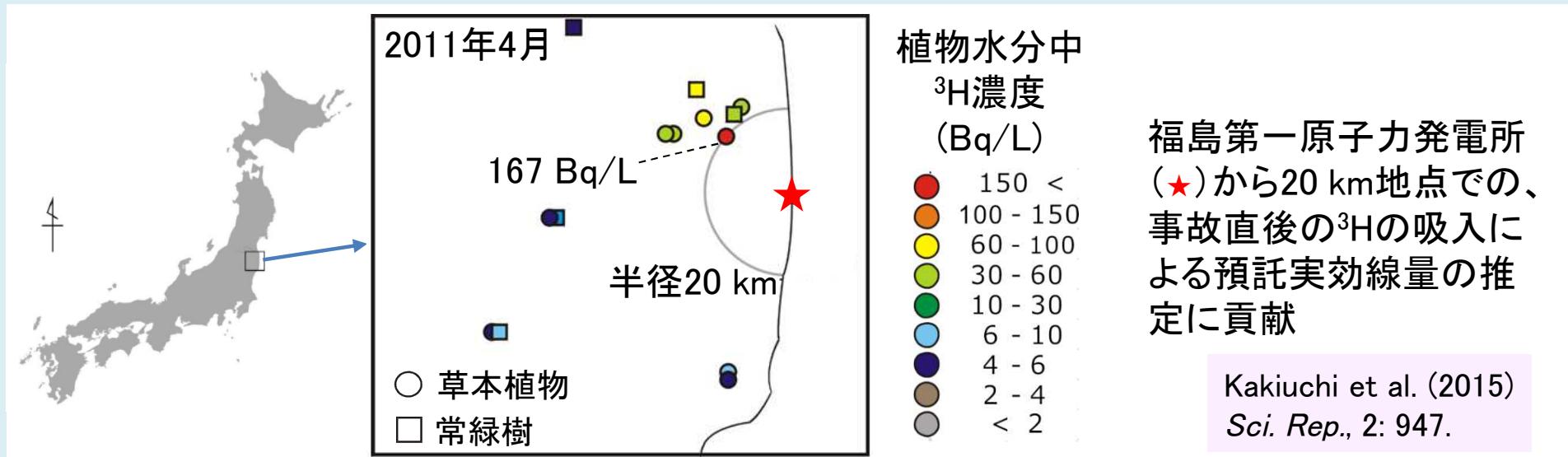
- ① IAEAの研究報告書(Technical Report Series No.472、2010年)に、アジア圏の主食であるコメ中¹³⁷Cs濃度の推定のための情報として、**土壤－白米間¹³⁷Cs移行係数**のデータが引用



- ② IAEAの研究報告書(IAEA-TECDOC-1927、2020年)における**河川水中の¹³⁷Cs挙動予測**の分野で、事故後に福島県内で環境研が取得したデータが引用



- ③ UNSCEARの2016年報告書に、福島事故後の**植物水分中³H濃度**の上昇についての研究結果が引用



- ④ 次期IAEA Technical Report Series (環境中トリチウム挙動)の編集に参画し、**六ヶ所村・福島における環境中³Hデータ**を中心に報告する見込み(2021年以降に発行予定)



これまでの成果のアウトカム：(3)福島における活用

福島事故当時、国内の環境条件に即した放射性セシウムの挙動に関する知見が乏しく、環境研の調査成果が科学的に信頼できる情報として活用された。以下にその全数を示す。

- ① 福島原発事故後の食品中放射性物質濃度について、**基準値を導出する計算に土壤－作物間移行係数が活用**(薬事・食品衛生審議会食品衛生分科会 放射性物質対策部会報告、2012年)
- ② 福島事故直後の農地における放射線セシウムの挙動の理解に、環境研の調査成果が活用
 - 放射性セシウムが可給態として土壤に存在する比率が沈着直後に多いという知見が、**土壤からの除染及び作物への移行低減化対策**の早期着手に貢献した。
 - 大気から葉に沈着した放射性セシウムは葉に残留するだけでなく根に移行するという知見が、**根菜可食部への放射性セシウムの移行経路**についての理解に貢献した。
 - 以上の知見及びこれらに関連する放射性セシウムの環境中挙動についての**情報を事故後に継続的に発信**し、その内容を論文として発表した(日本土壤肥料学会誌 82: 408–418、2011年)。
 - 放射性セシウムの土壤－作物系での動きに関する基礎的知見を日本土壤肥料学会URLにて公開し、農業関連機関などで参考にされた。<http://jssspn.jp/info/nuclear/post-15.html>
- ③ 放射線セシウムに関する環境研の研究技術及び知見を用いて、**福島事故後の農地における調査及び対策**に貢献
 - 土壤のセシウム固定力評価 (p. 23参照)
 - ヒマワリ等13種の植物を用いて、土壤中セシウムの除染実験を福島県内の農地で2011年に福島県立医大、農研機構と連携して実施(*J. Plant Res.* 127: 51–56, 2014)
- ④ 福島事故後にNHKの取材に対応し、**土壤から作物への放射性セシウムの移行**についての情報発信に貢献(**NHKスペシャル**、2011年4月9日)

成果のまとめと今後の課題・計画

成果のまとめ

自然放射線による県民の被ばく線量を明らかにするとともに、アクティブ試験及びその前後の期間において継続的に調査を行うことにより、再処理施設から排出される放射性物質の周辺地域への影響を評価する体制を整備した。

課題

本格操業後の実態把握・情報発信のための課題

1. 情報発信活動のための環境移行・線量評価モデルの運用体制の構築
2. 社会的に関心の高いトリチウムの生体への影響評価
3. 本格操業後の施設周辺環境における放射性物質の挙動把握
4. 本格操業後の万が一の過酷事象により放出される放射性物質の環境中移行予測及び作物への移行低減化対策

今後の計画 (R3～R8)

1. 地域共創
2. トリチウム生体影響調査
3. 大気・海洋排出放射性物質影響調査
4. 放射性物質異常放出事後対応調査

今後の計画：トリチウム生体影響調査(R3-8)

目標

大型再処理施設の本格操業に伴い排出されるトリチウムの住民への影響についての不安の解消

調査課題

- 内部被ばくによる影響について関心が高いことから、これまでの調査で構築したトリチウムの成人代謝モデルを子供を含む全世代に拡張
- 外部被ばくと比較して内部被ばくの影響は遥かに大きいのではないかという疑問を解消するため、内部被ばくによるトリチウムの生体影響を同じ線量の外部被ばくの事例と比較

成果の活用

福島ALPS処理水全量よりも毎年多く排出される可能性があるトリチウムについての不安解消に資するため、人体への影響をモデル推定及び実験データに基づき定量的に説明

目標

本格操業後の環境中挙動の実態解明と被ばく線量評価による、排出放射性物質の周辺環境への影響についての理解醸成

調査課題

- アクティブ試験時とは異なり環境中濃度が大きく上昇するという懸念を払しょくするための、排出放射性物質の大気、陸域、周辺海域における移行・分布・蓄積の実態把握
- 風評被害の問題を抱える地域農水産物の放射性物質濃度の実測とその変動要因の解明
- 内部被ばくに影響する食品中放射性物質濃度の実態把握
- 本格操業後の実態に即したヒトへの被ばく線量評価

成果の活用

- 排出放射性物質の環境中挙動の実態を視覚的に提示
- 農水産物で想定される濃度変動幅を科学的に説明
- 食品中濃度をこれまでのバックグラウンドデータと比較して提示
- 施設からの放射性物質の排出量データに基づいた被ばく線量評価の情報公開

今後の計画：放射性物質異常放出事後対応調査(R3-8)

目標

万が一の異常放出時における放射性物質の周辺環境における
移行予測及び事後の農業生産を支援する技術の提供

調査課題

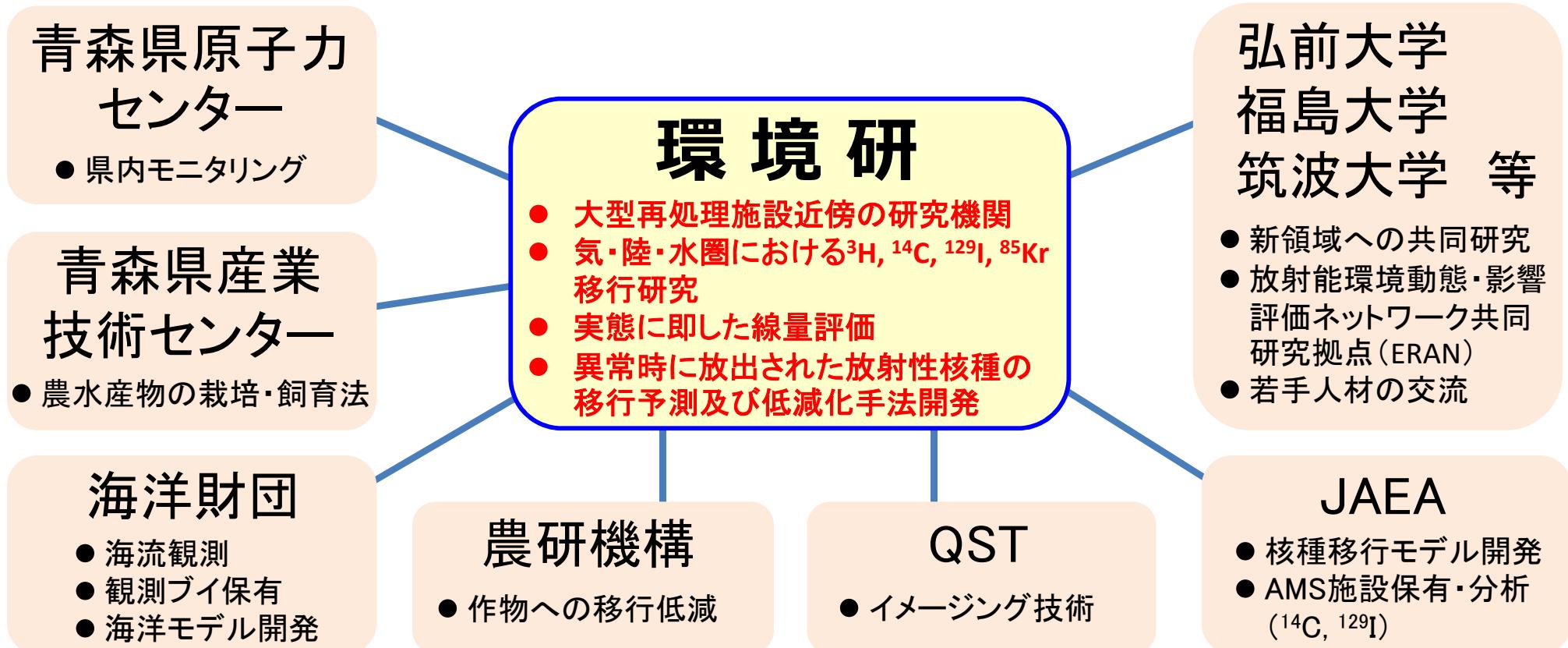
- 作物中濃度の上昇とその後の推移を科学的に説明するために必要な、放射性セシウムの作物への移行・残留性の実験的解明
- 放射性セシウムが沈着した農耕地の利用に資するための、**移行低減化手法**の開発とその中長期的効果の検証
- 環境中挙動に関する知見が不足している**放射性ルテニウム**を対象とした、移行制御についての基礎データの取得

成果の活用

- 異常放出時における放射性セシウムの作物中濃度の予測及び移行低減化手法の提示
- 福島県内の公的機関との連携による移行低減化手法の実証実験の推進
- 環境移行・線量評価モデルによる異常放出時の地域防災シナリオ作成への貢献、及び緊急時のモデル予測体制の整備

大型再処理施設立地研究における包括的な研究連携

- 【有効性】
- ・ 多岐にわたり未解明部分の多い研究課題の配分と成果の共有
 - ・ 連携のポテンシャルを活かした新たな研究領域への展開、外部資金獲得
 - ・ 情報交換と人的交流、及び人材育成を視野に入れた各機関との連携
 - ・ 施設とサイトの有効利用と分析、解析技術の共有
- など



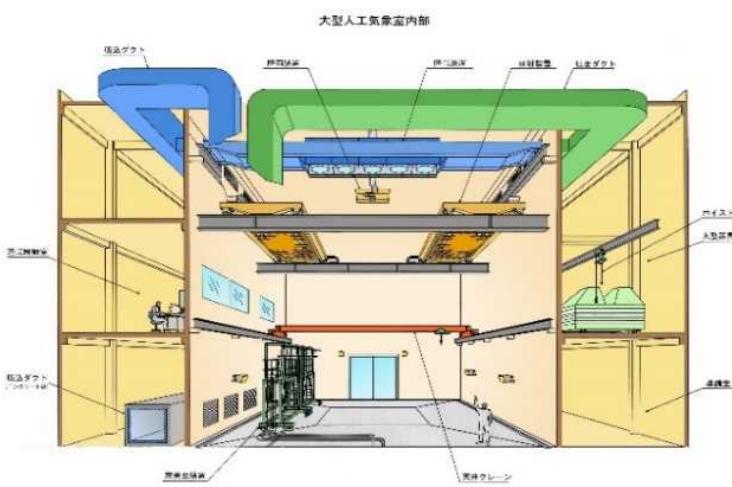
排出放射性物質の環境影響についての研究連携において
環境研の立地条件を活かして中心的な役割を担う

補足資料

全天候型人工気象実験施設：概要

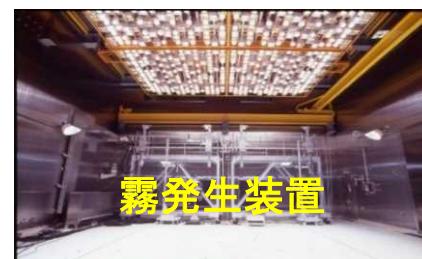


大型人工気象室 (1室)



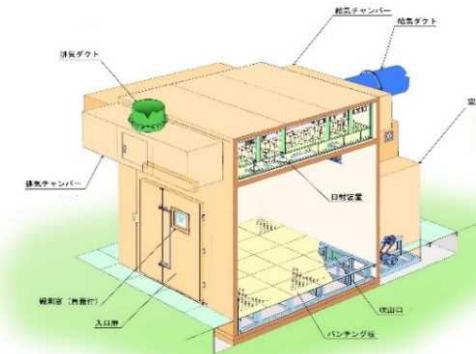
大きさ：幅12m、奥行11m、高さ13m

制御項目：温度・湿度・日射・降雨・降雪・霧



小型人工気象チャンバー (一般用:3台、RI用*:2台)

* 非密封放射性同位元素が使用可能

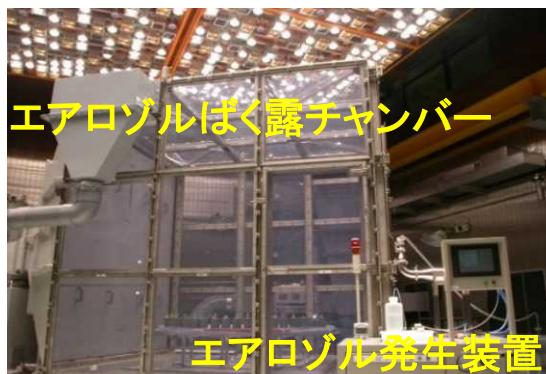
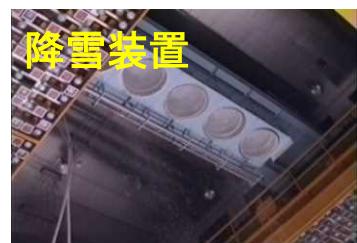
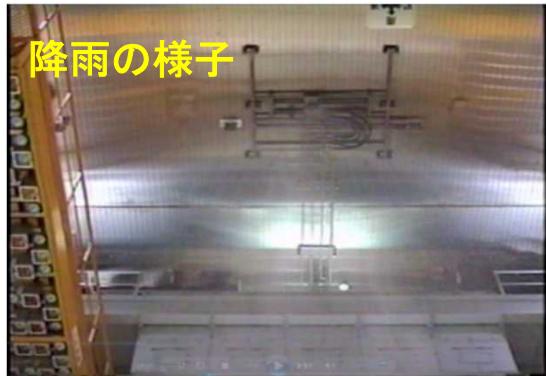


大きさ：幅2.7m、奥行2.7m、高さ2.5m

制御項目：温度・湿度・日射

全天候型人工気象実験施設：大型人工気象室の機能

やませ等の六ヶ所村の特殊気象を再現できる日本で唯一の全天候型人工気象室



大型人工気象室の機能

項目	運転範囲
温度	-25 ~ 50°C
湿度	20~90% RH
照度	最大50 klx
降雨	最大 100 mm/時
降雪	最大25 cm/日
霧	最大2 g/m ³
エアロゾル	固体及び液体

全天候型人工気象実験施設：放射線管理区域

放射線監視設備



放射線監視システム



放射線監視モニター



汚染検査機器

放射線測定装置



Ge半導体検出器付
多重波高分析装置

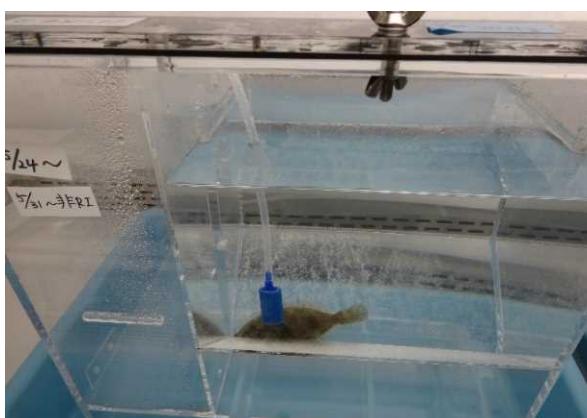


液体シンチレーション
カウンター

非密封放射性同位元素を 使用した実験



放射性セシウムの牧草への
移行低減化手法開発のための実験



放射性ヨウ素の海水及び餌からヒラメへの
取り込みに関する実験

主要な分析装置と分析件数

放射性核種

トリチウム(³H)



液体シンチレーションカウンター

計8,300検体
(H13～R2の20年間)

γ線核種(Cs等)



Ge半導体検出器付
多重波高分析装置

計14,300検体
(H12～R2の21年間)

放射性炭素(¹⁴C)及び放射性ヨウ素(¹²⁹I)



加速器質量分析装置
(外部委託)

計5,450検体
(H14～R2の19年間)

安定元素

安定同位体比



安定同位体比
質量分析装置

計47,600検体
(H28～R2の5年間)

元素濃度の測定

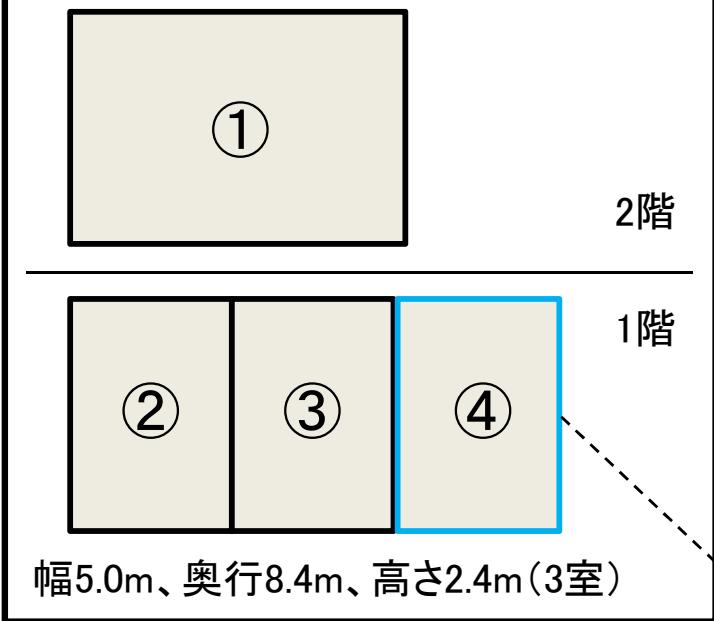


ICP-質量分析装置

計117,300検体
(H5～R2の28年間)

閉鎖型生態系実験施設：植物栽培実験施設としての利用

幅10m、奥行8.4m、高さ2.4m(1室)



大型栽培室の配置と大きさ

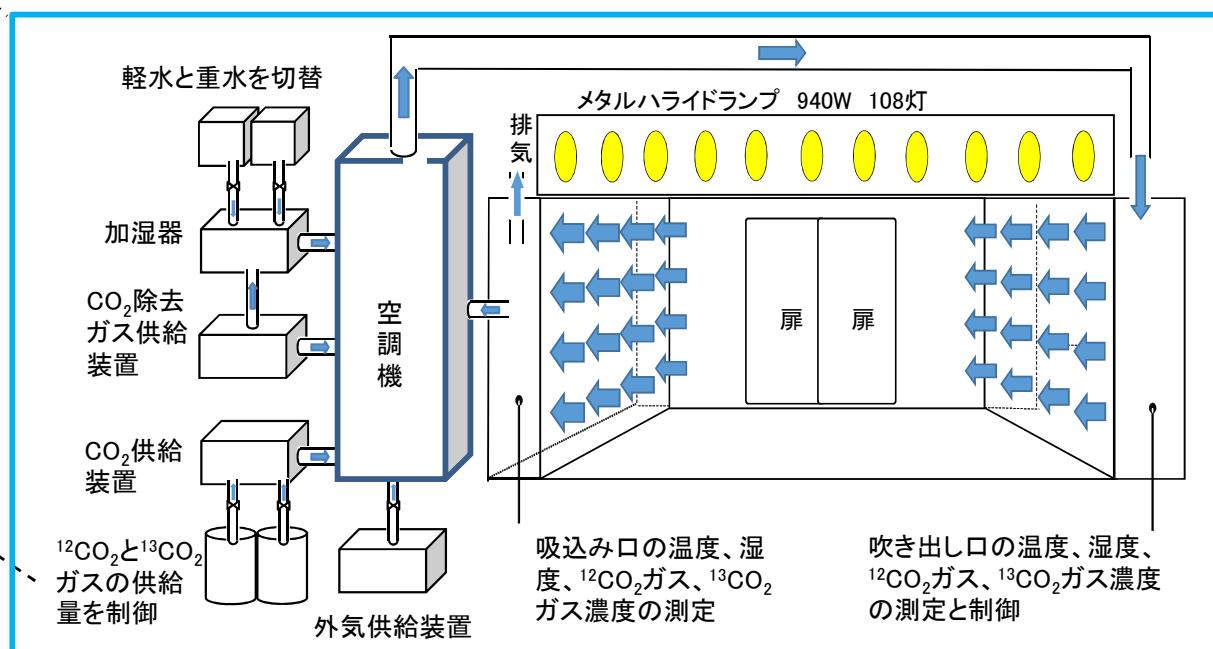


$^{12}\text{CO}_2$ 及び $^{13}\text{CO}_2$ ガス濃度制御用の同位体ガス質量分析装置

居住実験終了後は、③環境移行データを取得するための植物栽培実験施設として利用している。

4室とも人工光源を使用し、温度、湿度、日射を制御した条件で植物の栽培が可能である。

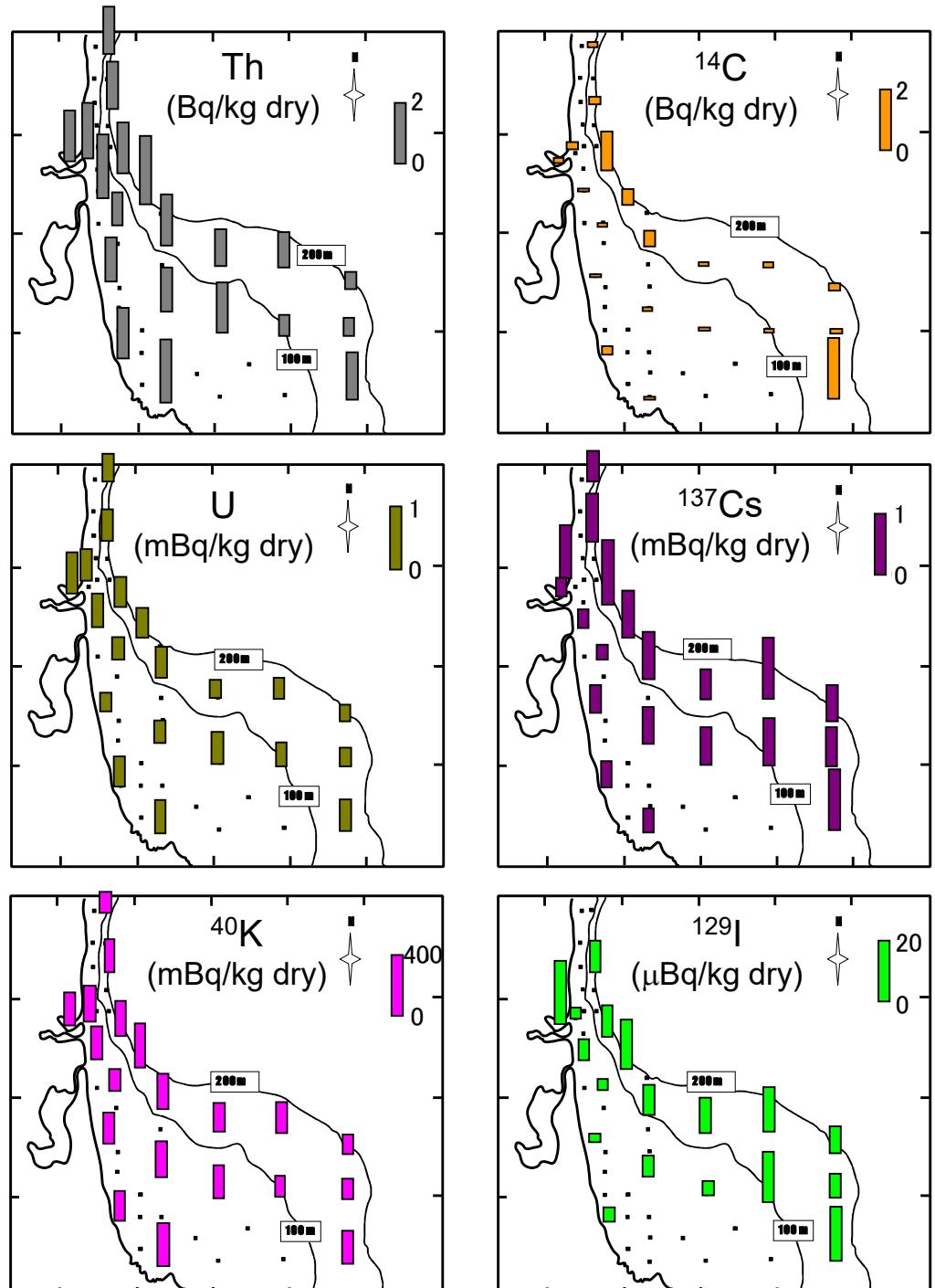
1室は $^{13}\text{CO}_2$ 及び重水蒸気のばく露機能を備えた日本で唯一の大型栽培室(下図)であり、作物における ^{14}C 及び ^3H の移行・残留性の解析に必要なデータを、多サンプル・同時ばく露実験により取得できる。



$^{13}\text{CO}_2$ 及び重水蒸気ばく露機能を有する大型栽培室(1室)

①排出核種データ：バックグラウンドデータ(H13～H17)

大型再処理施設稼働前の気圏、陸圏及び水圏環境中の放射性核種濃度データを取得し、施設から排出される放射性物質の周辺環境への影響を定量的に評価可能とした。

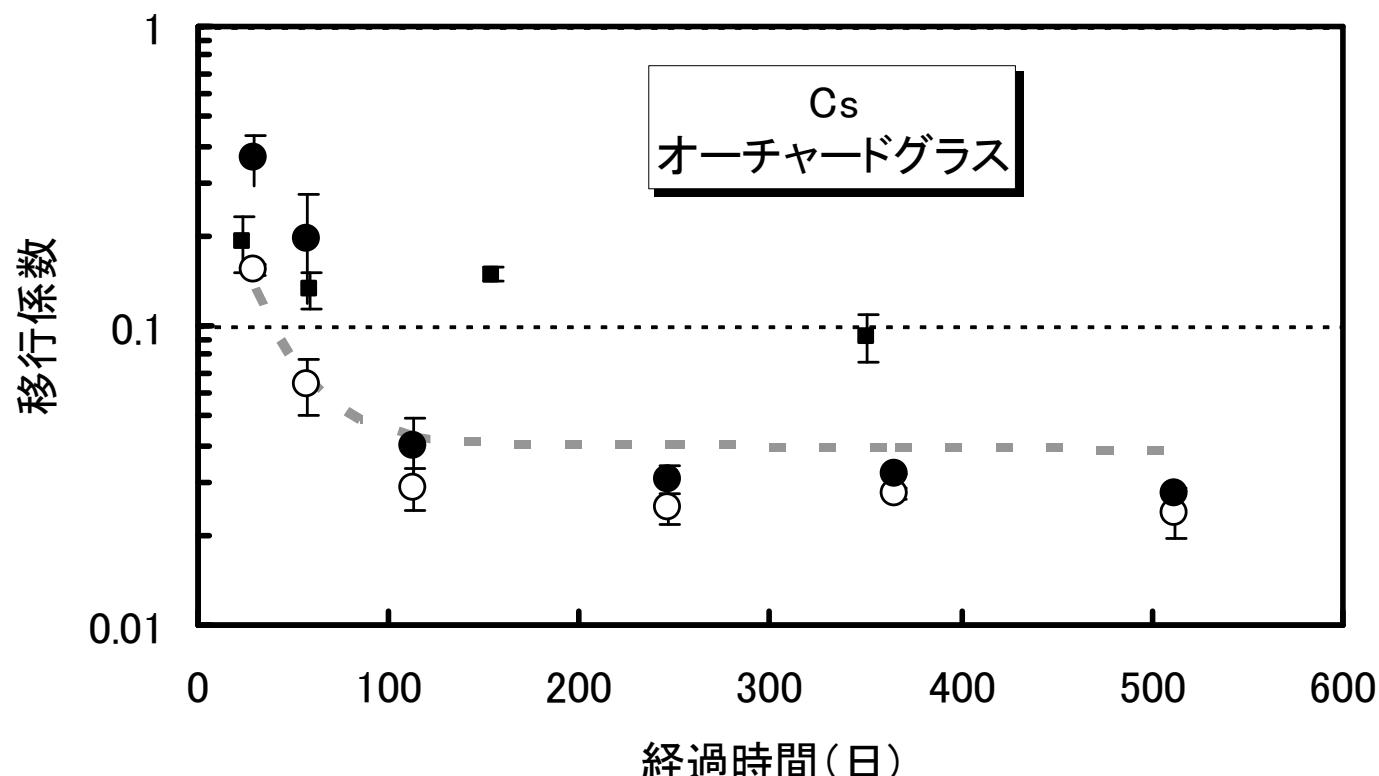


沿岸海域（六ヶ所村－八戸市間）の
海底土中における放射性核種濃度の
地理的分布

③環境移行データ：放射性物質の形態間移行(H13～H22)

セシウムとヨウ素は土壤中で水に溶けにくい形態に変化するため、作物による経根吸収率が高くなるのは土壤への沈着直後であることを明らかにした。この成果は、福島事故後における土壤からの除染及び作物への移行低減化対策の早期着手に活用された。

成果の一例：土壤から牧草(オーチャードグラス)へのセシウム移行係数の時間変化



点線は無施肥土壤における回帰曲線を示す。

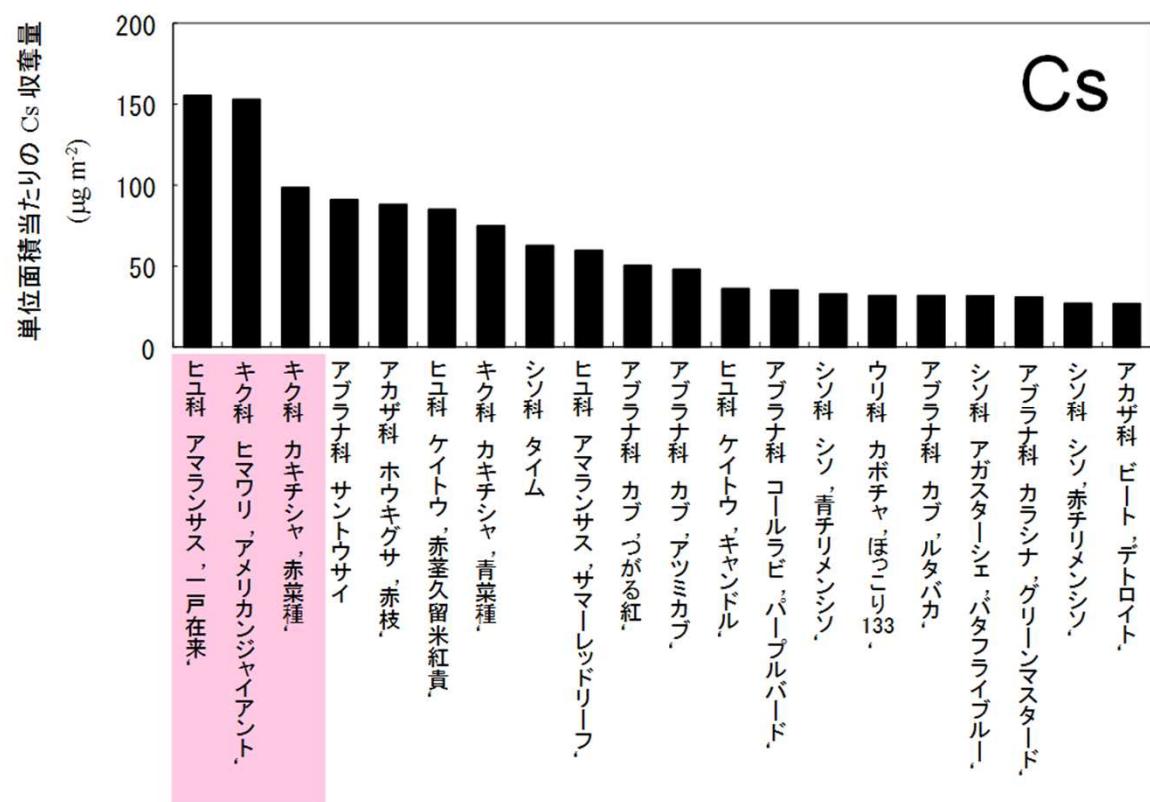
○, 化学肥料 (NPK混合1倍量、 ^{133}Cs)

●, 化学肥料 (NPK混合3倍量、 ^{133}Cs)

■, 堆肥 (^{137}Cs)

③環境移行データ：植物の元素集積性(H18～H22)

77種の栽培植物と50種の野生植物について栽培実験を行い、土地面積当たりのセシウム、ストロンチウム及びヨウ素収奪量を植物間で比較することで除染植物を選定した。本調査の成果は、福島事故後の農地で¹³⁷Csの植物による除染手法を検証した共同研究*において、植物種の選定に利用された(p.27、③)。



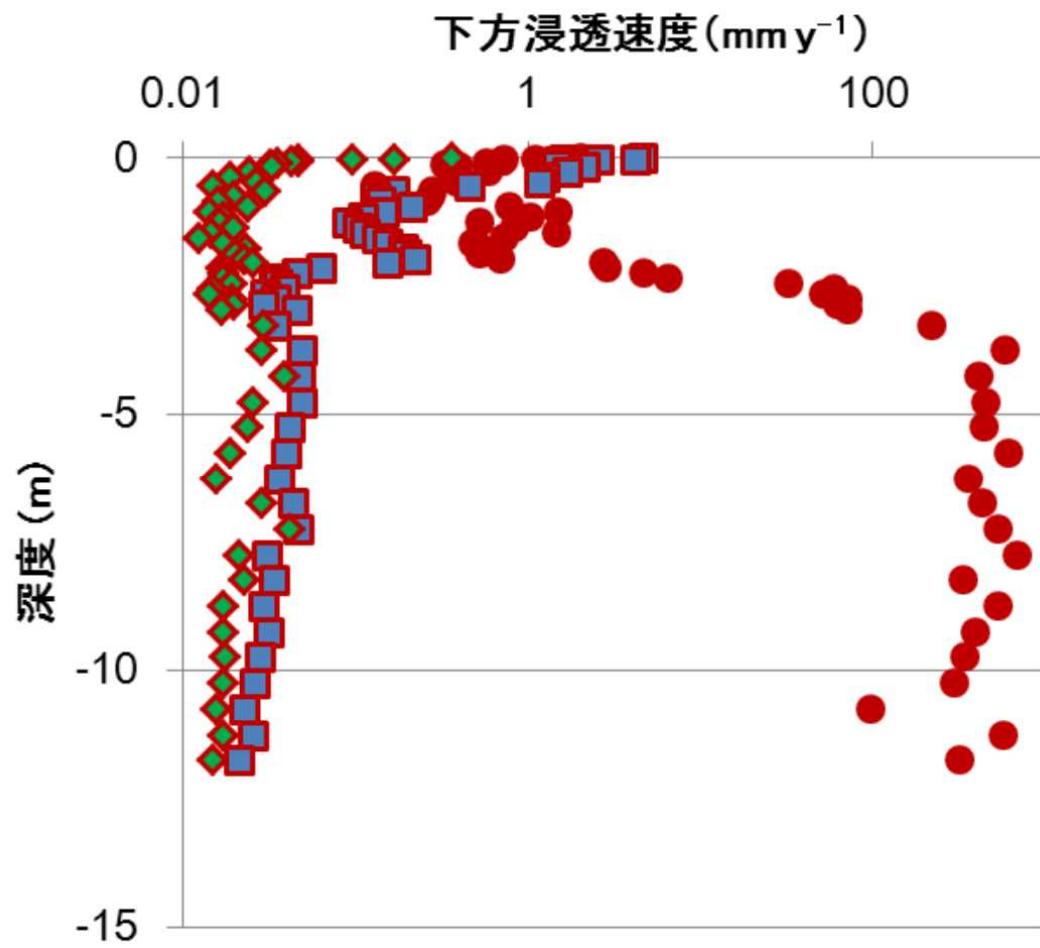
土壤からのセシウム収奪量の多い植物種を選定

ストロンチウム及びヨウ素についても栽培実験を行い、植物種別の収奪量データを取得

*: Kobayashi et al. (2014) *J. Plant Res.*, 127: 51–56.

③環境移行データ：土壤浸透係数(H23～H27)

土壤に沈着した放射性核種の地下水への移行を評価するために必要な下方浸透速度を調査し、下方浸透速度の土壤深度による変動パターンが放射性核種によって異なるという、土壤から地下水までの放射性核種の挙動の理解に資する成果を得た。



放牧地
 $^{125}\text{I}^-$
 ^{85}Sr
 ^{137}Cs

二又の放牧地で採取した土壤コアを71層に分割し、放射性同位元素 ($^{125}\text{I}^-$ 、 ^{85}Sr 、 ^{137}Cs) を各土壤層に添加する実験を行い、下方浸透速度を求めた。