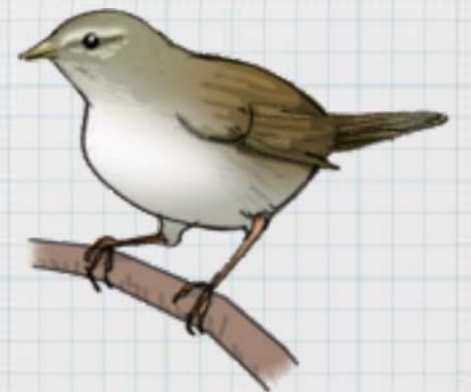


農林環境における野生生物の放射線被曝 と環境指標としての適性

石田 健

生圏システム学専攻
フィールド研究支援



Illustrated by K.Sugita

今日の要点 (目次) :

- ・ 自己紹介

Self-introduction

- ・ 生態学の 概念 と 放射能汚染の生態影響

“Ecology & radiation”

- ・ チェルノブイリ原発事故後の野生生物

Chernobyl accident & wildlife

Fukushima-daiichi accident & wildlife

- ・ 福島第一原発事故後の野生生物事例

- ・ 福島第一原発事故、「高線量地帯」での

石田の研究事例

My approaches at highly contaminated area

- ウグイスの羽毛汚染

Bush warbler feather contamination

- 鳥類群集の定点カウント・録音

Bird count and recording

- これからの課題、ウグイス等の活動量評価

bird activity change

- ・ どうなる、原発、放射能と環境

future and the world

秩父 奄美 福島

島の固有種を丸ごと保全する

旗艦&指標希少種の理想的な保全対策をめざして



フィールド研究支援担当
石田 健 准教授

ルリカケスは、20世紀初頭には美しい青い羽根を婦人の帽子飾りとして輸出するための乱獲、1953年の奄美諸島の本土復帰後は生息地の天然林開発、20世紀末は外来捕食者ファイラングースの脅威にさらされてきました。保護対策が実り一息ついた今、生態系の研究から保全の理想のかたちをさらに探求しています。

奄美だけにいる遺存固有種

ルリカケスは、奄美大島と隣接する2,3の小島だけに生息しています。独特の羽色を持ち、DNA分析でも日本のカケスと明確に区別されます。もっとも近縁の種は、ヒマラヤ山地に生息するインドカケスです。奄美大島は、以南の生物群集が日本の他地域やユーラシア大陸の大部分と異なり、東南～南アジアと共通性が高く、生物地理学の東洋区の先端に位置しています。固有種が多数生息する奄美諸島を、『東洋のガラパゴス』と呼ぶ人もいます。



ルリカケス(奄美諸島の金・高美善男氏撮影)

自然の実験、ドングリの結実動態

食物連鎖の最上位に位置するルリカケスは、トカゲや昆虫、クモなどの他、秋冬にはドングリを食べます。好物のアマミアラカシは、頬袋とくちばしをいっぱいにして運び貯蔵します。奄美大島に大量にあるのは、農学部キャンパスにもあるスダジイです。ドングリはほとんどならない年があり、豊凶の年変動はルリカケスの繁殖成績に効きます。ドングリとルリカケスを含む長期生態系モニタリングにより、生態系の重要な性質である動態が明らかになり、気候変動など長期の環境変化が自然に及ぼす影響についても参考になります(図1)。

域内と域外で、丸ごと知り、丸ごと護る

東京大学は上野動物園が近く、研究のご縁もあります。私は行動実験のためにコケラを飼う方法を伝授してもらったのをきっかけに、学生実習でも長年利用させていただいてきました。上野動物園は1929年からルリカケスを飼育し始め、50年前に中断後1995年頃に飼育を再開しました。飼育繁殖を継続するための現地での生態調査と個体採取に、10年前から東大も協力し、地元の保護・飼育団体も加わって、科学的視点から、種を丸ごと、遺伝的多様性を域内外ともに最大限保持する取組みを進めています(図2)。

※奄美大島には東京大学最南端の自然科学研究所奄美諸島動物研究施設があり、ハブや島インプルの研究が行われています。

雄鳥のルリカケスの繁殖成績

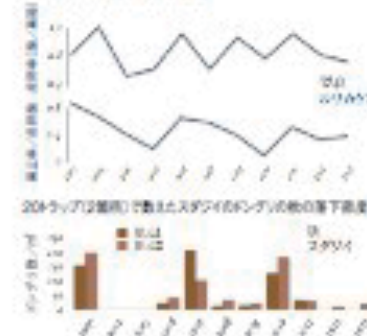


図1.
2008年まで10個、2009年以降は20個の産卵による観察。産卵率(産卵数/産卵数)と、生存率(生存率/生存率)と、産卵率の値が1以上になった年、同じ産卵で2個の産卵や巣立ちもあり、産卵率が1を超えた年もあった。個体群の回復観察、個体群の競争や捕食(卵捕獲を含む)の観察も加わり、繁殖では、ドングリの豊作が繁殖成績の指標と個体群回復に関連している。

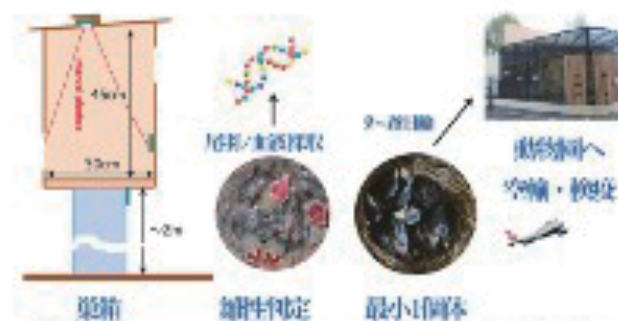


図2.
域外保全施設では、DNAで雄雌判定し、1つの産卵から目的の他の最小個体3羽を採取する。これによって遺伝的多様性を確保し、個体群への影響を最小にできると想定。域外保全施設における遺伝的多様性の確保は、後から検証し、改善する。

教えて! Q&A

遺存固有種

奄美のルリカケスとヒマラヤ山地のインドカケスの共通祖先は、かつて同地域にまたがって広く分布し、中央の広い場所では絶滅して別の系統の種たちにおきかわったと考えられます。同時に残った種々の進化を遂げたように近縁種どうしを、こう呼びます。沖縄島の1万年余り前の地層からは、ルリカケスに似た鳥の骨が発見されています。

島の生態学

チャールズ・ダーウィンがビーグル号航海の途中に、進化論を育む着想を得たガラパゴス諸島は、『自然史』などと生物学を促して引用されます。奄美のような島は、進化現象が顕著に現れ、生態系が明確な固有生物を有し、生物学の地史と着想に満ちた場所の1つです。

↓3つの主調査地



Fukushima
Chichibu

Amami

今

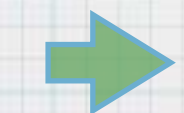
今日の要点（目次）：

- 自己紹介
- 生態学の 概念 と 放射能汚染の生態影響
- チェルノブイリ原発事故後の野生生物
- 福島第一原発事故後の野生生物事例
- 福島第一原発事故、「高線量地帯」での
石田の研究事例
 - ウグイスの羽毛汚染
 - 鳥類群集の定点カウント・録音
 - これからの課題、ウグイス等の活動評価
- どうなる、原発、放射能と環境

~ Prologue ~

科学 とは ?

生物科学 とは ?



本日の話

生態学 とは ?



生態学の歴史

B.C. 300~400 **Aristoteles** 記載記録分類

博物学の時代

19c.~ **C. Darwin** 進化論 哲学的・思考規範
近代科学としての生物学基準確立

近代によく売れている教科書

1960~70 **Odum** 物質循環 10/5の大手先生

1980~ **Krebs** 個体群動態

1990~ **Begon** 種間相互作用

喰う喰われる以外の関係も

21世紀は、

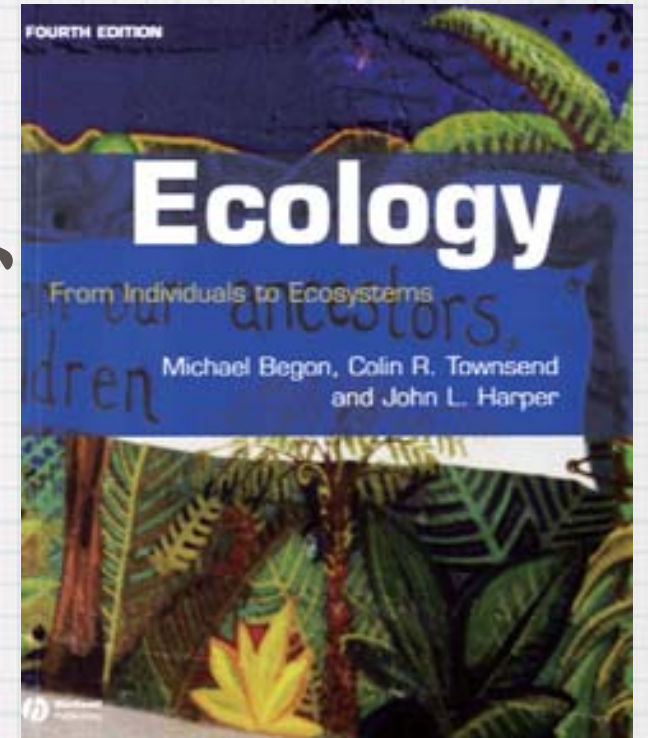
Ecological Developmental Biology



DNA~個体、いずれも環境の影響下で異なって振る舞う

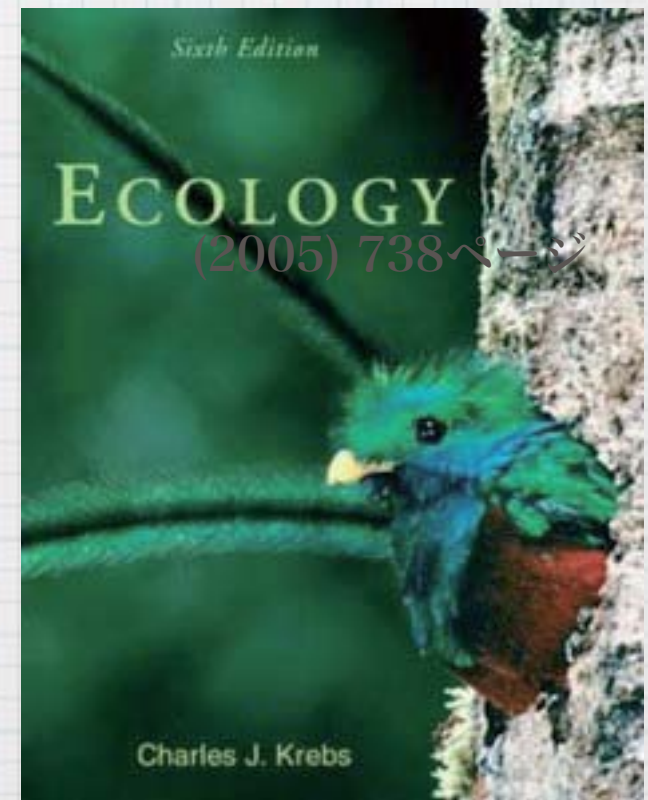
科学へ
↓
H₂O
C, N, P, Cu, K, Ca...
Cd, DDT...

生物の**分布**と**数**、
生物の**分布**と**数**を決める物理的、化学的、
生物学的な特徴と**関係**
について書いた本
(ベゴンら『生態学』第4版)

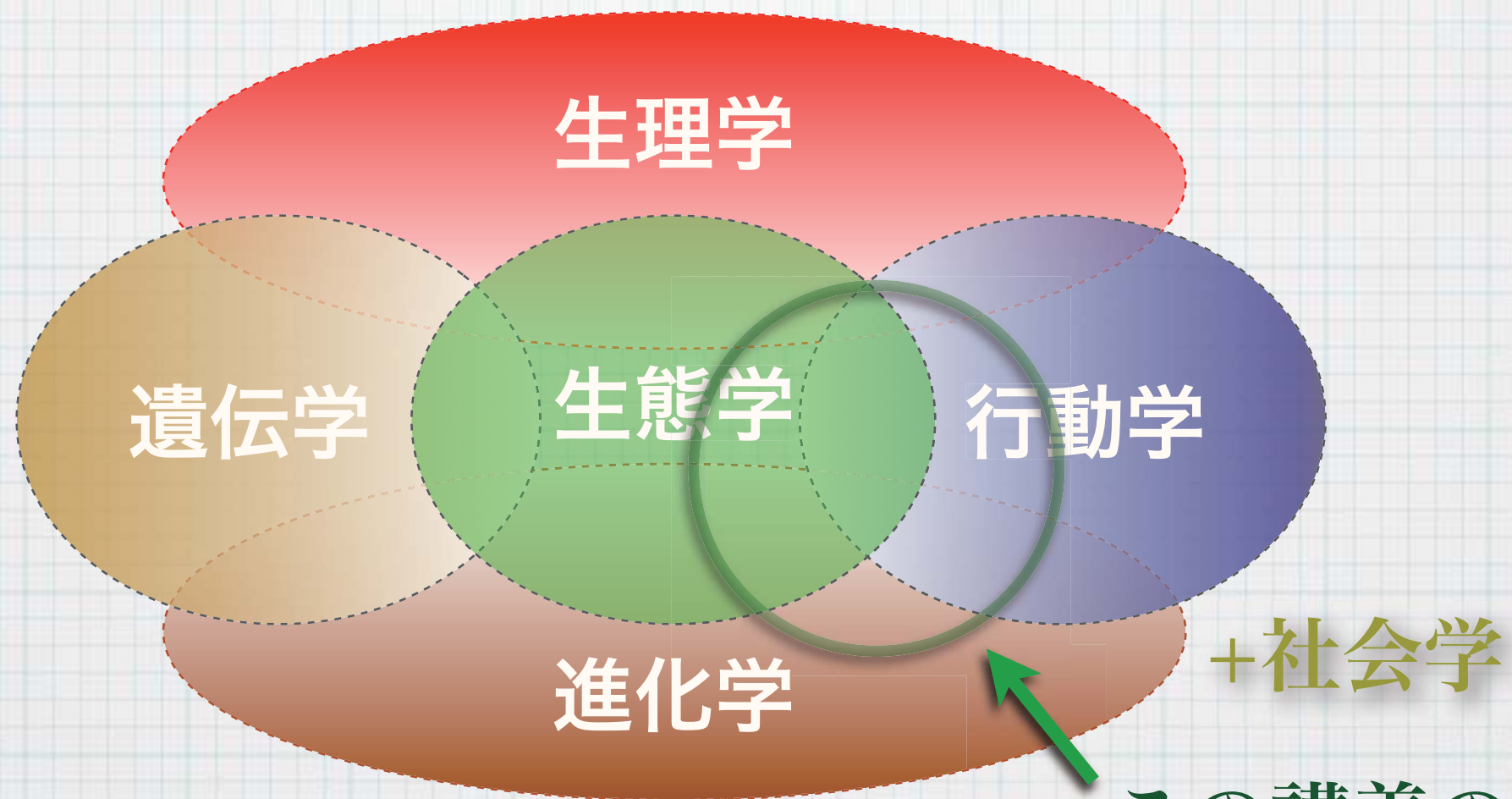


第4版翻訳 2013年3月刊行

“Ecology” Charles Krebs
Elton の定義を引用



生態学



この講義の範疇
or 石田の守備領域

C. Krebs "Ecology" p.2 から再描画

保全生態学、生態系管理学、合意形成、リスク管理

生態学

放射性同位元素の半減期

hierarchy・階層性

“一見”
(全く)異なる
挙動を示す
こともある

“創発”
“*emergence*”



物理的半減期

DNA・細胞

生物的半減期

器官・個体

生態的半減期

個体群・群集

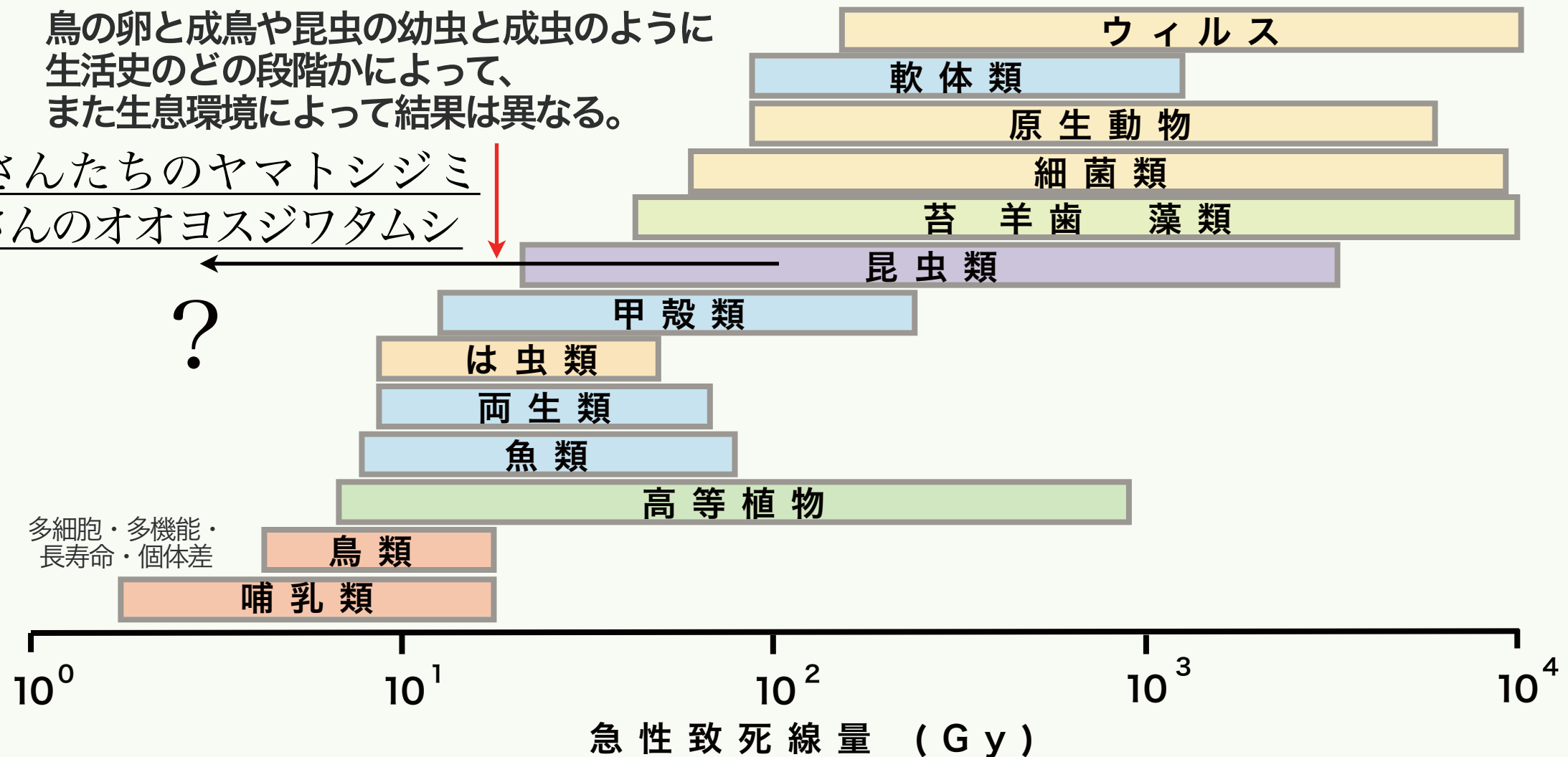
放射線の個体への作用にも生態的側面がある

何を食べるか、どこで暮らしているか、、、

野生動物モニタリングの意味

鳥の卵と成鳥や昆虫の幼虫と成虫のように
生活史のどの段階かによって、
また生息環境によって結果は異なる。

大瀧さんたちのヤマトシジミ
秋元さんのオオヨスジワタムシ



いろいろな生物の放射線感受性の比較 「半数致死」量

(UNSCEAR, 1996による)

外部からの高線量被曝 と 内部（低線量）被曝
生態系にどういう結果として現れるか？
私たちにとっては？

「放射線」が生物に影響するしくみ

石田の試論

エネルギー

現象

確定的影響

守備範囲

“極強”
かなり強？

いろいろな段階
いろいろな環境

“複合作用”

“長期・低線量”

“内部被曝”

“微弱”

物理的破壊

器官・個体

代謝阻害

DNA・細胞

細胞の破壊
発生阻害

個体群・群集

生態系・社会

DNA・RNAを壊す

細胞中の水を分解して活性酸素を生む

確率的影響

“物理学”

“放射線医学”

“生態学”

“農学”

放射線の個体への作用には生態的側面がある
何を食べるか、どこで暮らしているか、、、

放射性同位元素の半減期【再】

石田の試論

hierarchy・階層性

“一見”
(全く)異なる
挙動を示す
こともある

“創発”
“*emergence*”

物理的半減期

DNA・細胞

生物的半減期

器官・個体

生態的半減期

個体群・群集

発現率
症状の重篤さ

“平均的には”
“影響が減る”

“局所的には”

“必ずしも
減らない”

影響の大小基準：野生生物では「適応度」の変化

放射線の個体への作用にも生態的側面がある

個別詳細には判っていることが多そうだが、全体、集団
現象の量と質、分布（生態的側面）としてどうなのか？

• • •
だから、野生生物も、野外で
生息地（その場）で調べる、、

in situ

仮 説

低線量でも、環境・状況により、
野生生物の表現形質に発現し、
変化が観察できる
放射線の「影響」があるのではないか？

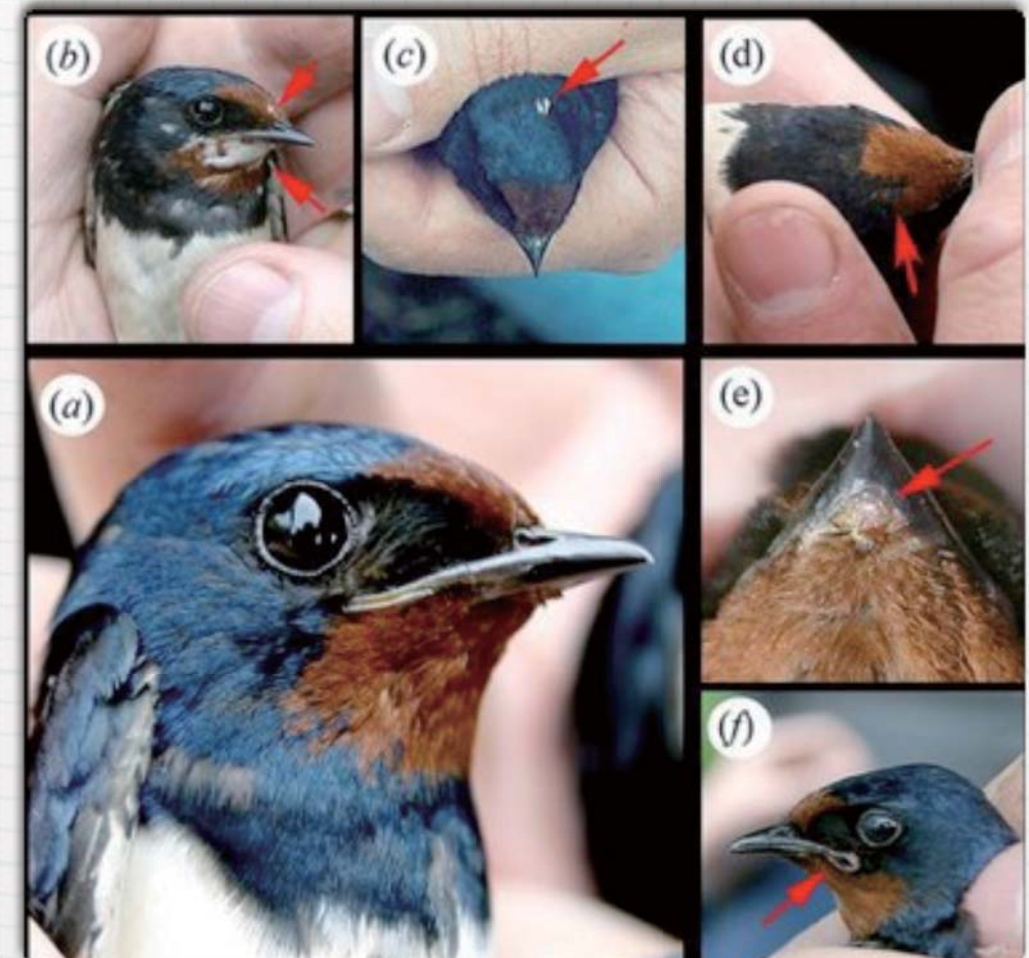
今日の要点：

- 自己紹介
- 生態学の 概念 と 放射能汚染の生態影響
- チェルノブイリ原発事故後の野生生物
- 福島第一原発事故後の野生生物事例
- 福島第一原発事故、「高線量地帯」での
石田の研究事例
 - ウグイスの羽毛汚染
 - 鳥類群集の定点カウント・録音
 - これからの課題、ウグイス等の活動評価
- どうなる、原発、放射能と環境

チェルノブイリ事故から25年以上経って・・・



**Despite Mutations,
Chernobyl Wildlife Is Thriving,**
以前、希少だった野生生物が増えたり



National Geographic
変異を見せる生物が発見されたり

http://news.nationalgeographic.com/news/2006/04/0426_060426_chernobyl.html

<http://news.nationalgeographic.com/news/energy/2011/04/pictures/110426-chernobyl-25th-anniversary-wildlife/>

福島では恐らく一部の海産底性魚介類と双璧

イノシシ、イノブタ

1.2.1.4. 森林環境

山林では、チェルノブイリ事故後、放射性セシウムが生物へ極めて多く移行した。**最高の放射能値は林産物で記録**された。放射性セシウムが、森林生態系で循環するから

である。137Csの放射線量の高いキノコ、野いちご、狩猟動物では、**高レベルが維持**されている。多くの国で基準値を今も超えている。**今後数十年にわたりこの状況が続く**だ

ろう。したがって、複数の被曝国で、森林汚染による住民の被曝が相対的に重要になってきた。林産食品の放射能汚染の**低下は**、基本的に137Csが**土壌の深い所へと浸透**下降

するのと、放射性壊変による減衰で減るのを待つしかない。**福島では恐らく太平洋へ**
ヨーロッパの北極圏内外では、チェルノブイリ事故後、放射性セシウムが地衣類からトナカイへ、トナカイ肉から人体へという経路で移行することがあきらかになった。

材木や**木製品**の使用による一般人への**被曝はほとんど心配ない**。しかし、薪を燃やしたあとの**灰は高濃度の¹³⁷Csを含む**と予想され、木の他の使用法より被曝が大きくなるリスクがある。材木に含まれる¹³⁷Csは余り問題にならないが、パルプ工場内の被曝には注意を払わなければならない。

1992年には森林火災によって大気中の放射能濃度が上昇したがその値は問題になるほど高くはない。議論はあるものの、火や火災の近くを除けば、汚染林から人体への移行は問題になるほどのレベルにはならないだろう。

【石田が文章を改訂要約した】

Møller & Mousseau らの研究チームの示してきた結果（主に野生の鳥の研究）

この研究はいろいろなところで、紹介されています。

- ツバメ等で羽毛の部分白化が多数みられる・・・遺伝的影響が生き残った
- 線量の高い場所で、白内障が顕著
- 線量の高い場所で、精子や染色体の異常が顕著
- 線量の高い場所で「腫瘍」を持つ個体が複数発見される（どういう「腫瘍」？）
- 線量の高い場所で、鳥の種数が少ない・・・生息環境・調査方法等の影響が排除できているか（特に、福島では重要、後で説明）
- ツバメ等で、繁殖成績が低下している
- ツバメ等の渡り鳥で、抗酸化機能が低下している
- 線量の高い場所で、生存率（再捕獲率）が低い傾向のある種がいる
- 線量の高い場所の個体の脳が、比較した場所より小さい
(元は？、回復は？、適応度との関係は？)
- 捕食/被食や共生など、多くの種間関係が攪乱されている（変化している）
- 抗酸化機能を補償する適応（形質変化）が起こっている

他に同様の（精力的な）研究例がなく、検証は未定。
サンプル数は多く、参考にする価値は高いと石田は考える。

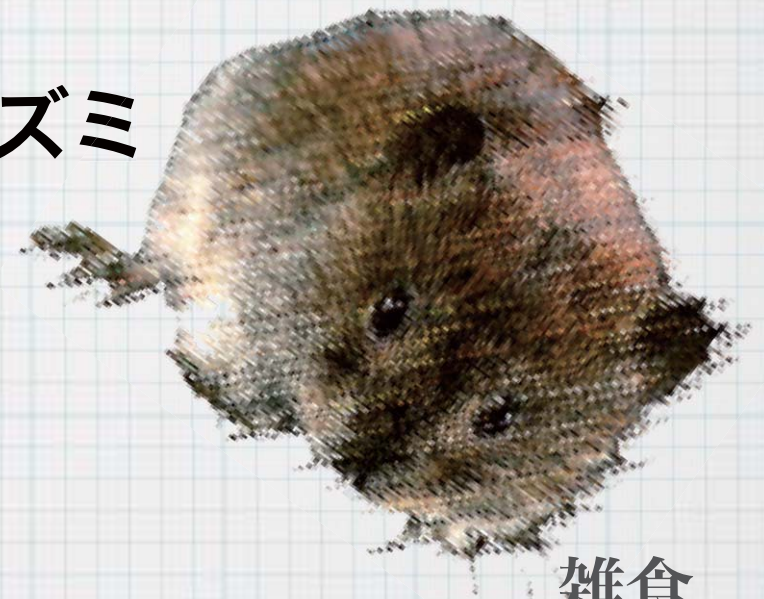
小型哺乳類では2年後に体内蓄積最大？

Ryabokon, Smolich, Kudryashov & Goncharova (2005)

チェルノブイリ原発周辺で捕獲したヤチネズミ

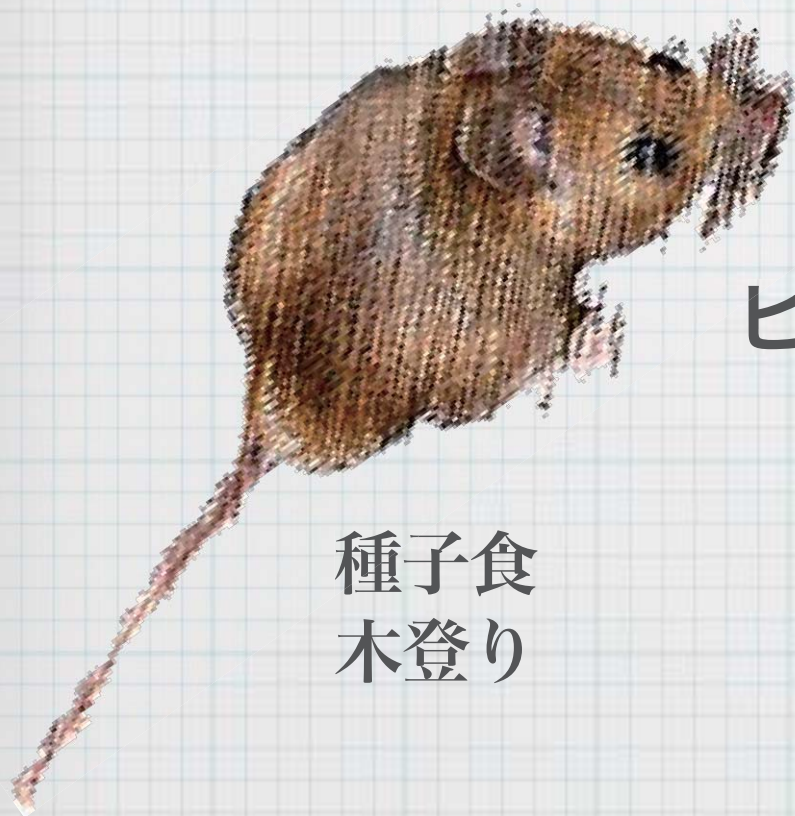
bank vole *Clethrionomys glareolus*
= *Myodes glareolus*

yellow-necked mouse
Apodemus flavicollis

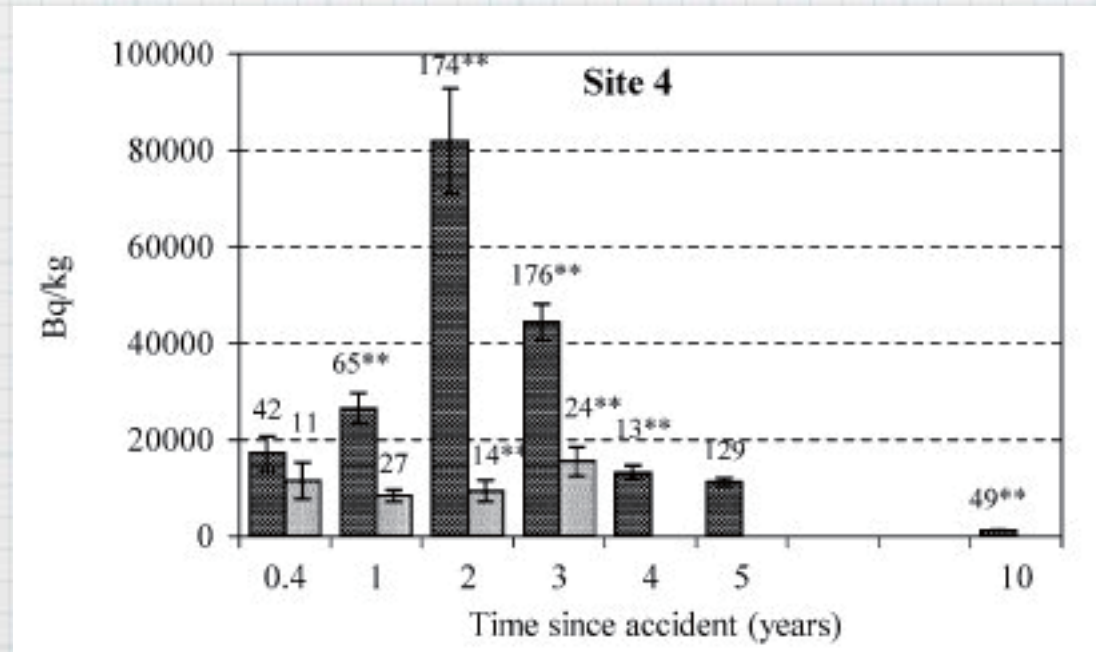


雑食
地上付近

ヒメネズミでは蓄積が顕著でない、生態の差異



種子食
木登り



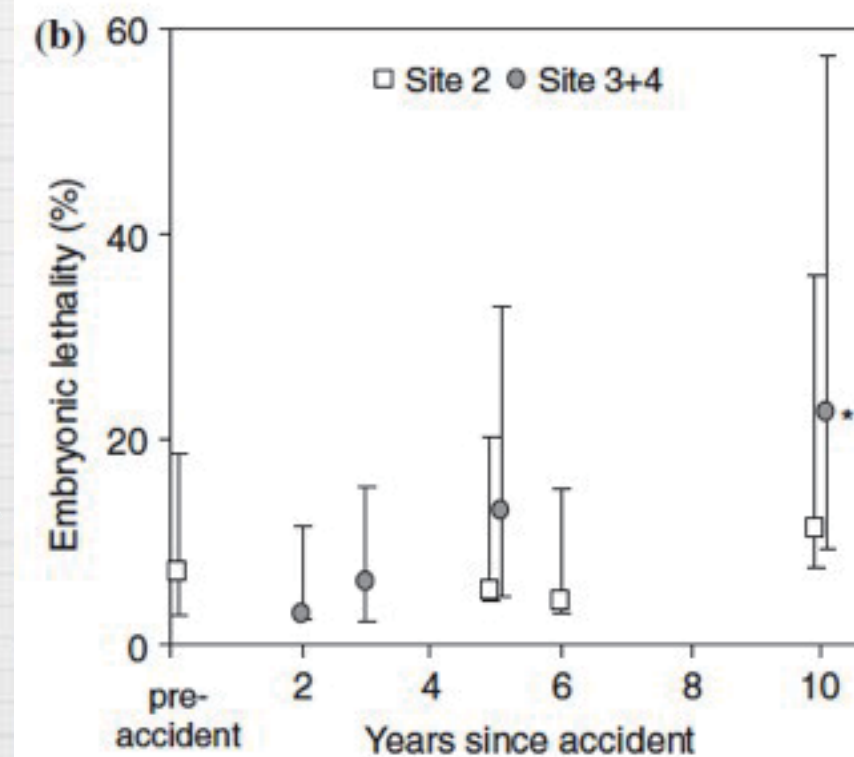
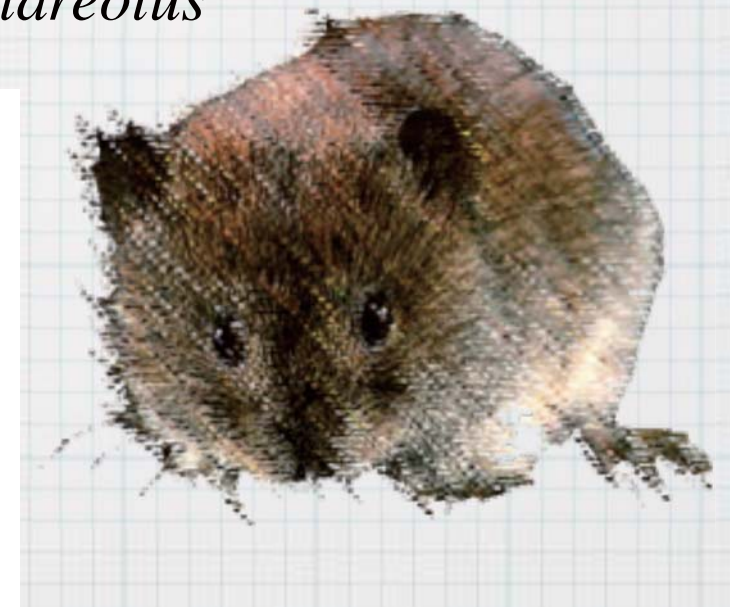
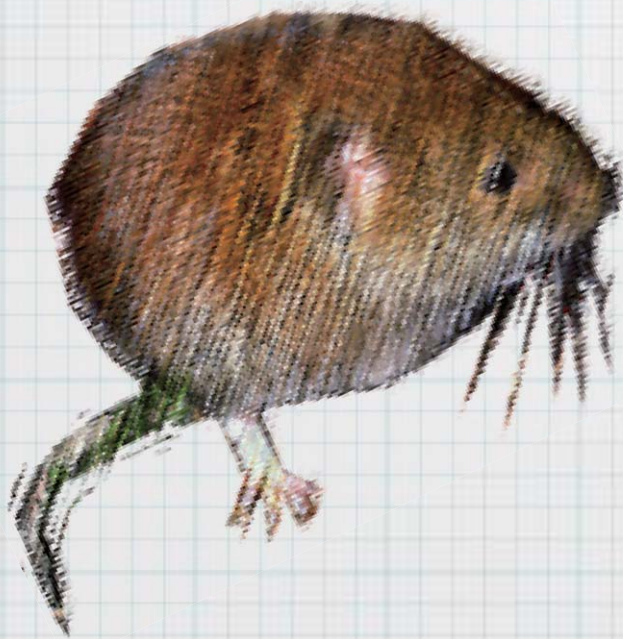
bank vole
mouse

チェルノブイリ原発の北北西 40km の場合

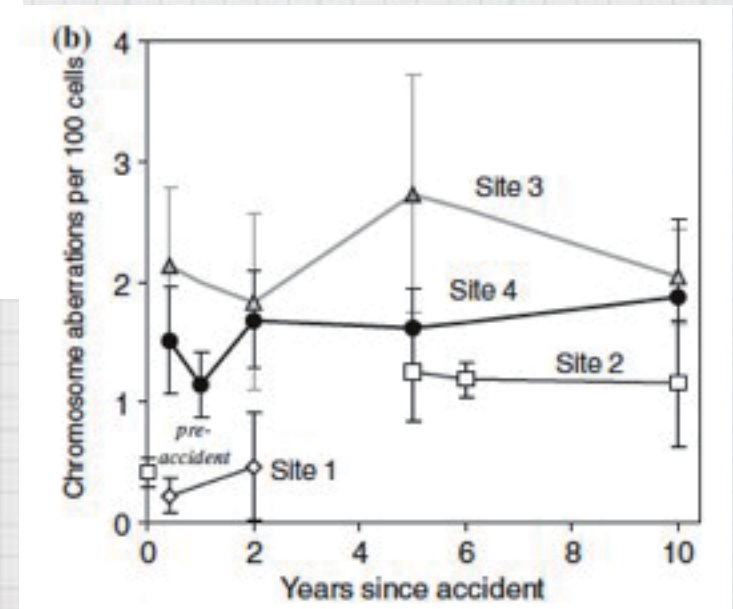
遺伝変異は世代間に引き継がれ蓄積する Nadezhda, Ryabokon & Goncharova (2006)

チェルノブイリ原発周辺で捕獲したヤチネズミ

bank vole *Clethrionomys glareolus*
= *Myodes glareolus*



染色体異常の率



チェルノブイリでは

- **野生生物の(生態)研究は少ない
(狩猟獣・林産物等の測定値はある)**
- **事故直後に現地封鎖**
- **情報公開が遅い**

カメムシ16,367個体 Hesse-Honegger & Wallmann (2008)

稼働中の原発周辺で
多数の異常個体採取

定量的な評価ではない

(多数見つかった。出現割合、多地点との比較はない)



今日の要点：

- 自己紹介
- 生態学の 概念 と 放射能汚染の生態影響
- チェルノブイリ原発事故後の野生生物
- **福島第一原発事故後の野生生物事例**
- 福島第一原発事故、「高線量地帯」での
石田の研究事例
 - ウグイスの羽毛汚染
 - 鳥類群集の定点カウント・録音
 - これからの課題、ウグイス等の活動評価
- どうなる、原発、放射能と環境



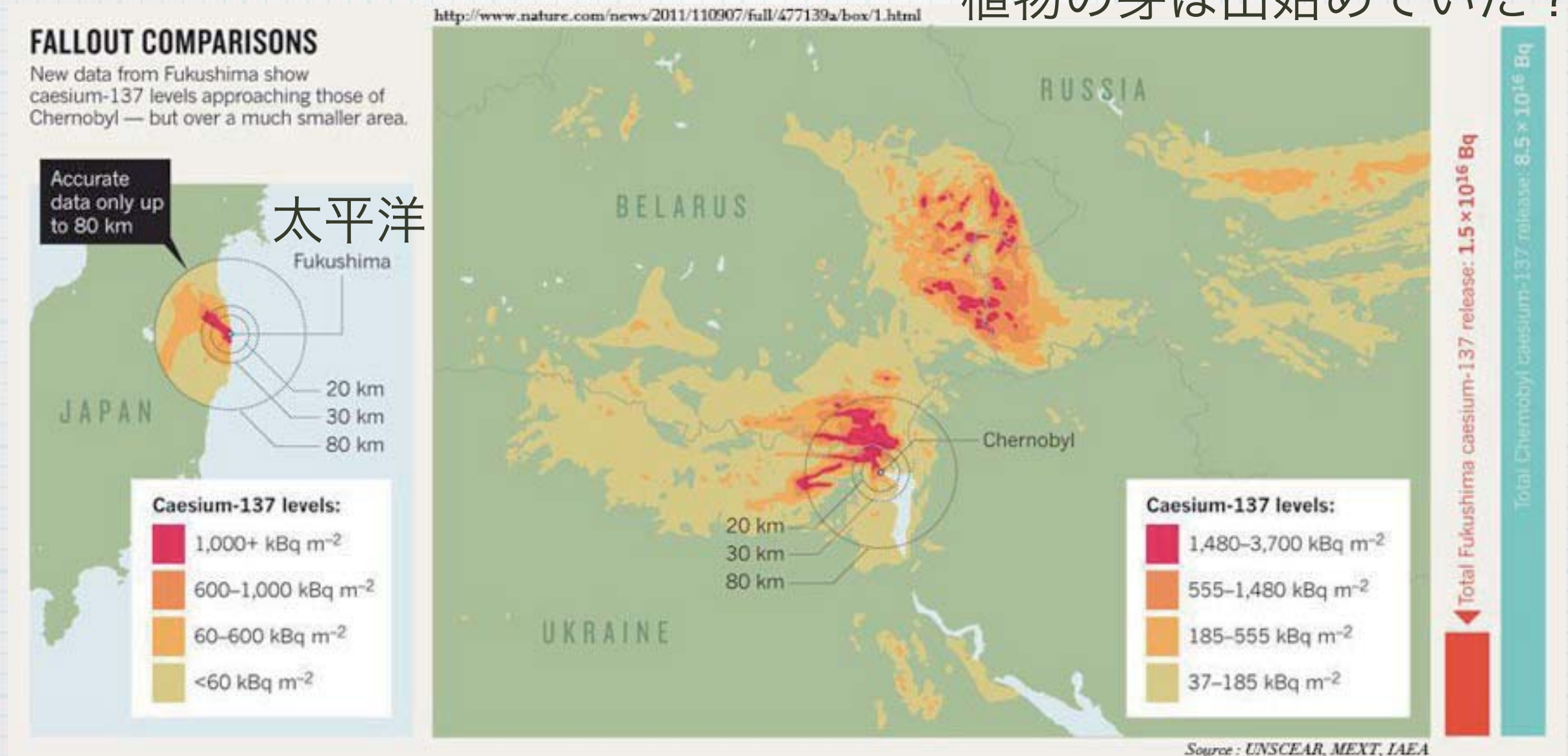
Fukushima Daiichi Nuclear Power Plant = F1-NPP

福島第一とチェルノブイリ原発事故の比較

3月11日開業前

4月26日~5月6日放射線の大放出継続

植物の芽は出始めていた？



セシウム137の降下線量の比較 Nature 2011年9月7日号

チェルノブイリでは炉心露出しており、直近（時間、空間）の状況が異なる（核種、局所線量 cf.）赤枯れ林は福島にない

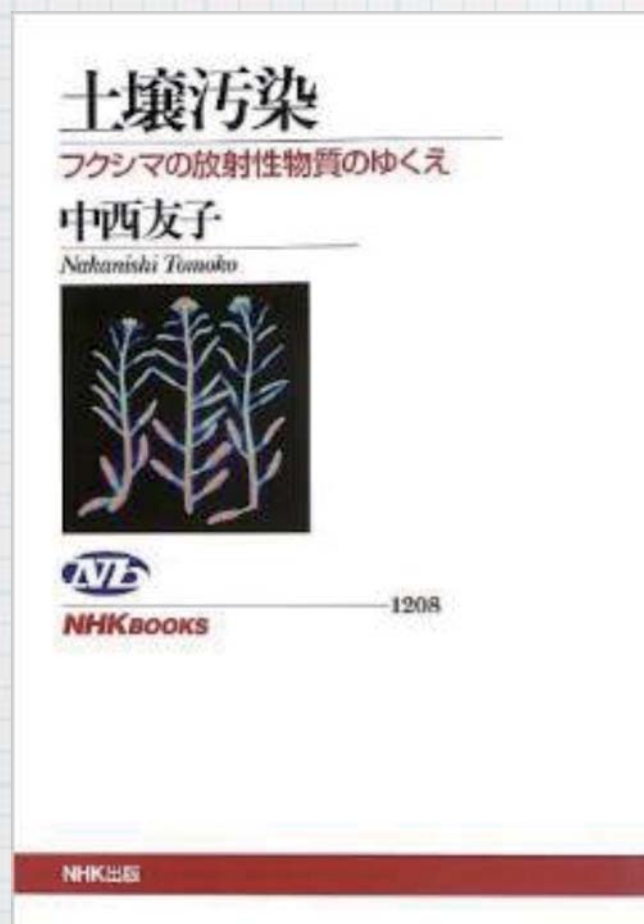
★ 事故の起こった季節による影響の差異は大きいはず

放射性物質の推定放出量

radiation accident	I131	Cs134	Cs137	Str90	Pr239
F1-NPP	16万	18,000	15,000	14	0.0032
CB-NPP	170万	44,000	85,000	8,000	30

汚染面積 F1, 8,900Km²; CB, 145,100Km²

(中西 2013 表 1-3 から孫引き)



(中西 2013)

一般市民向け ということですが
みなさんにとっても、全体の概要
をまず把握するのに適切な参考書

細かい点については、この講義、講義資料を使い、
自分でも確認する ことが肝心

福島第一原発事故では~250km圏带状

<http://radioactivity.mext.go.jp/en/list/203/list-1.html>

中通り(盆地)

郡山、二本松
福島市 等
阿武隈川流域

奥秩父山地

東京大学
秩父演習林

山岳地形
森林地帯
島国

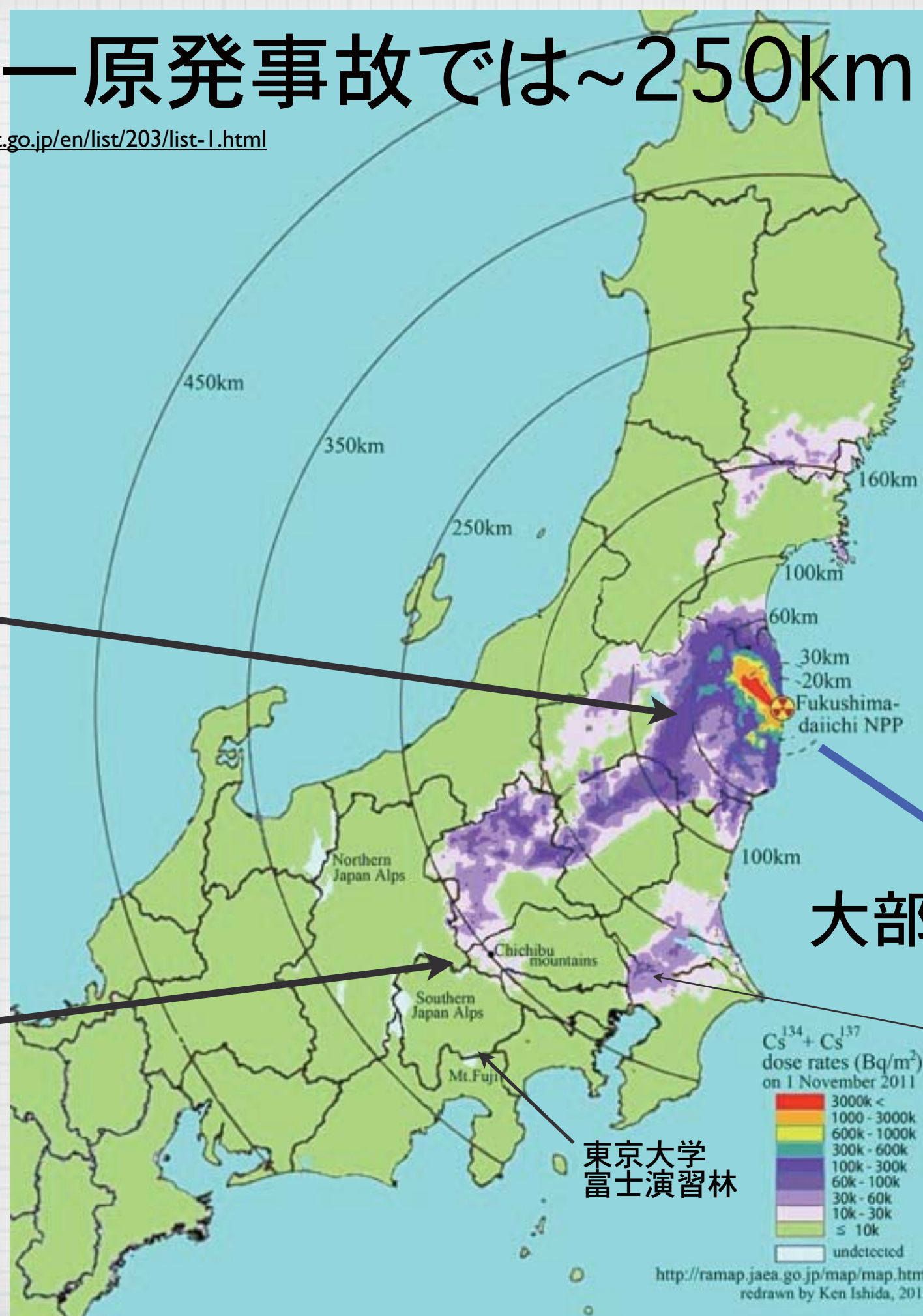
偏西風

高温多雨
積雪

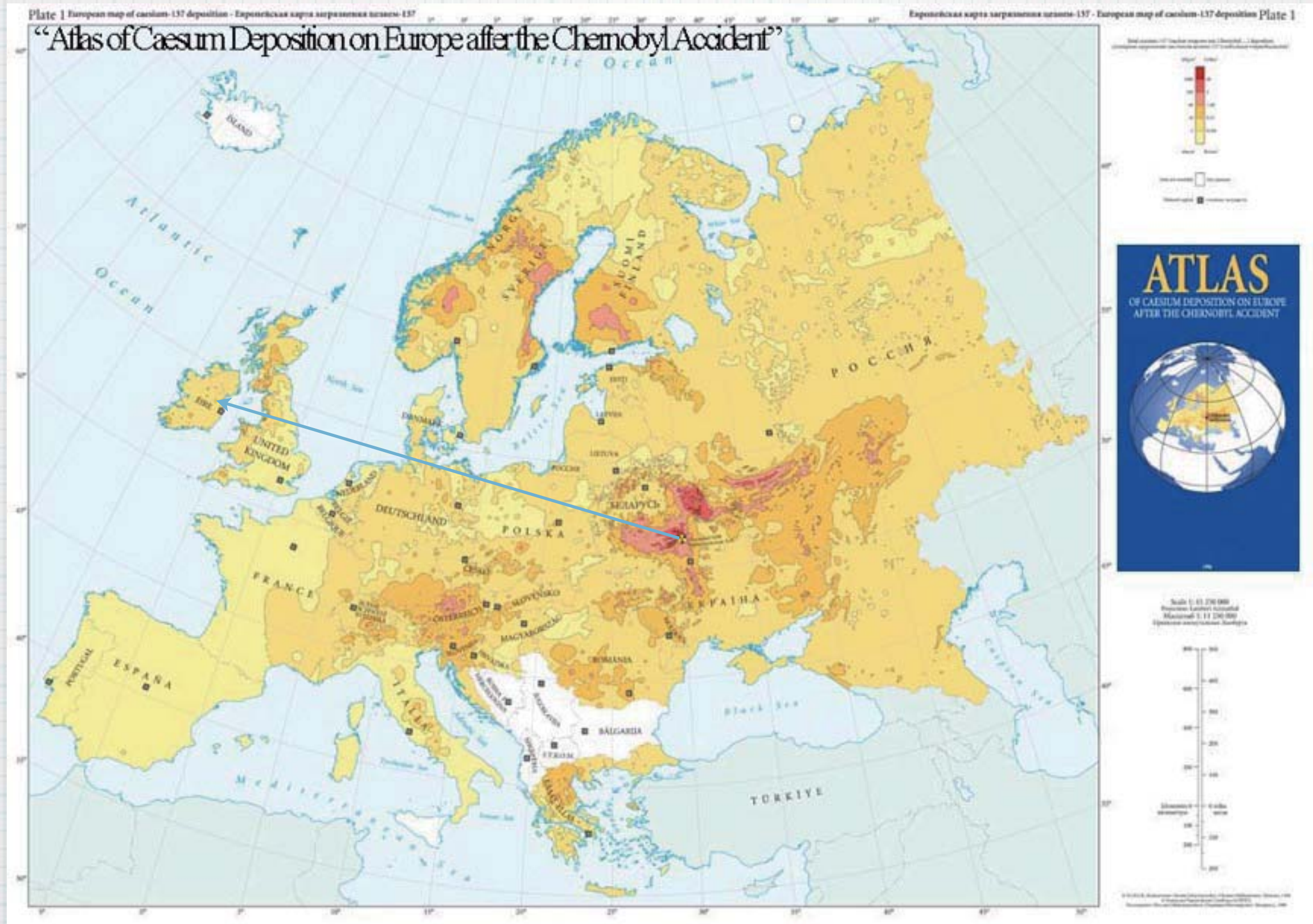
大部分、太平洋へ

東京大学
柏キャンパス

事故は海葉前



チェルノブイリ原発事故ではヨーロッパ全域に



Chernobyl → Ireland > 2,500km

<http://rem.jrc.ec.europa.eu/RemWeb/pastprojects/Atlas.aspx>

汚染地帯が分布

おおざっぱに、福島事故では

2011

チェルノブイリ の 1/10

Chernobyl Level 7
1986

ウィンズケール の x100

Windscale Level 5
1957

の生態系汚染が起こったと考えるとよい。

スリーマイル島では、放射性物質の放出
はほとんどなかった

Three Mile Island Level 5
1979

F1-NPP～約3キロの福島県大熊町にある建物の壁で採取したツバメの巣から、約**140万**Bq/kg検出（環境省発表2012年3月23日）

巣表面は $2.6\mu\text{Sv/hr.}$ 、約50cm離れると $0.08\mu\text{Sv/hr.}$



これは突出した値？で 一例報告だった様子

2014年6月

飯舘村長泥のツバメの巣

除染作業のついで？に除去されたツバメの巣

“巣表面は $2.6\mu\text{Sv/hr.}$ → 約50cm離れると $0.08\mu\text{Sv/hr.}$ ”



2014年6月

飯舘村長泥のツバメの巣

大部分の巣材は、低線量だったらしい（山階鳥類研究所他、未発表）



この巣は2012～2014は不使用

実用的な生物指標のためには
多地点・多数・長期の情報
が必要になる

二本松市のツバメの巣

2011年に繁殖したツバメの巣の放射線量（岩見ら 2015）

Bq / kg

	n	平均±S.D.	最大値
福島県	92	7502±13916	90000
千葉県	7	3210±4521	12900
宮城県	15	903±1472	5900
茨城県	12	1289±1746	5300
神奈川県	10	311±586	1950
東京都	4	858±427	1460
群馬県	5	493±496	1210
静岡県	3	353±429	830
埼玉県	6	195±256	680
山梨県	5	140±280	560
山形県	3	36±44	85
他10道県	22	-	101

ばらつきが非常に大きい サンプル数不足か？

a wild boar

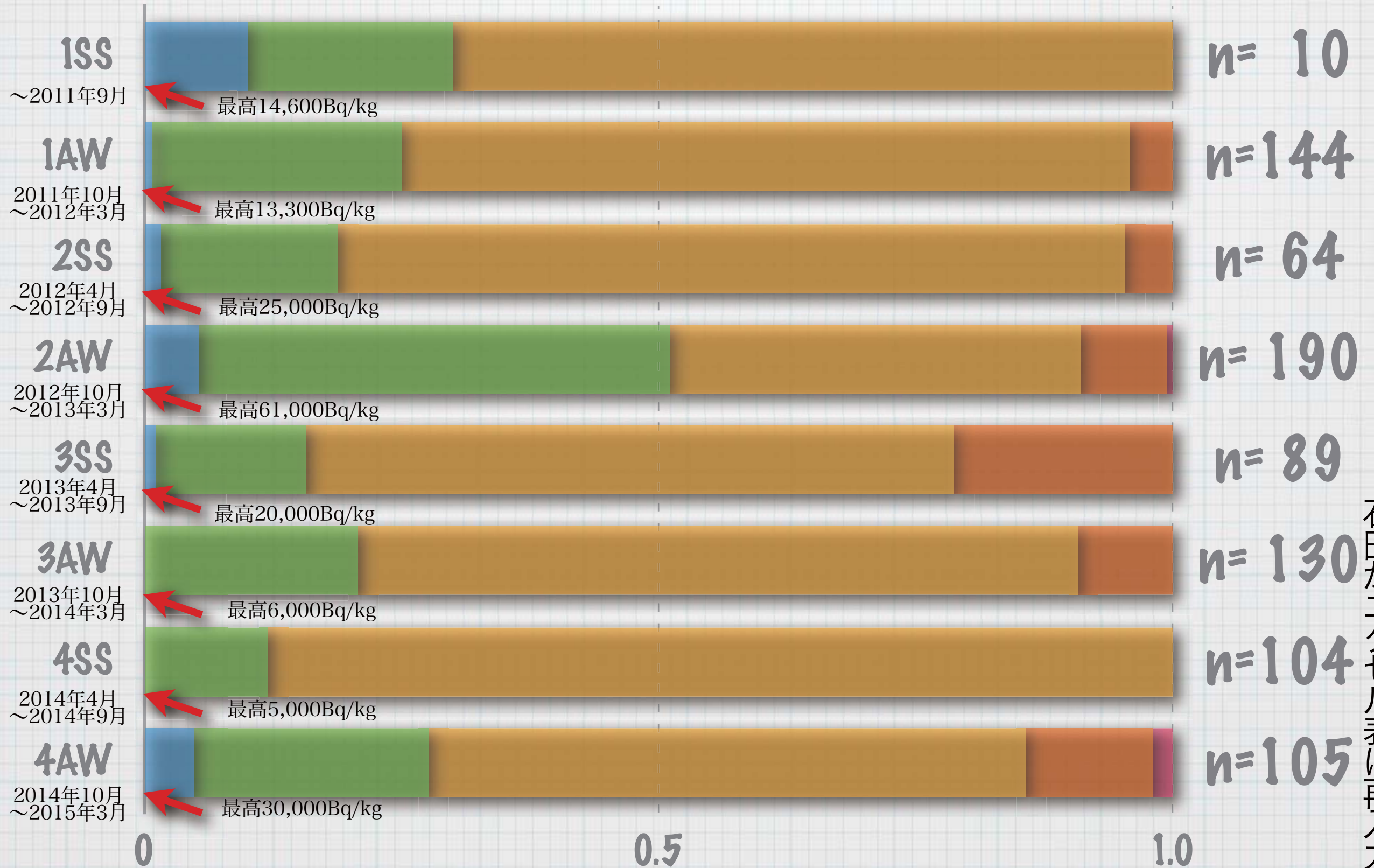


奄美大島のリュウキュウイノシシ



葛尾村

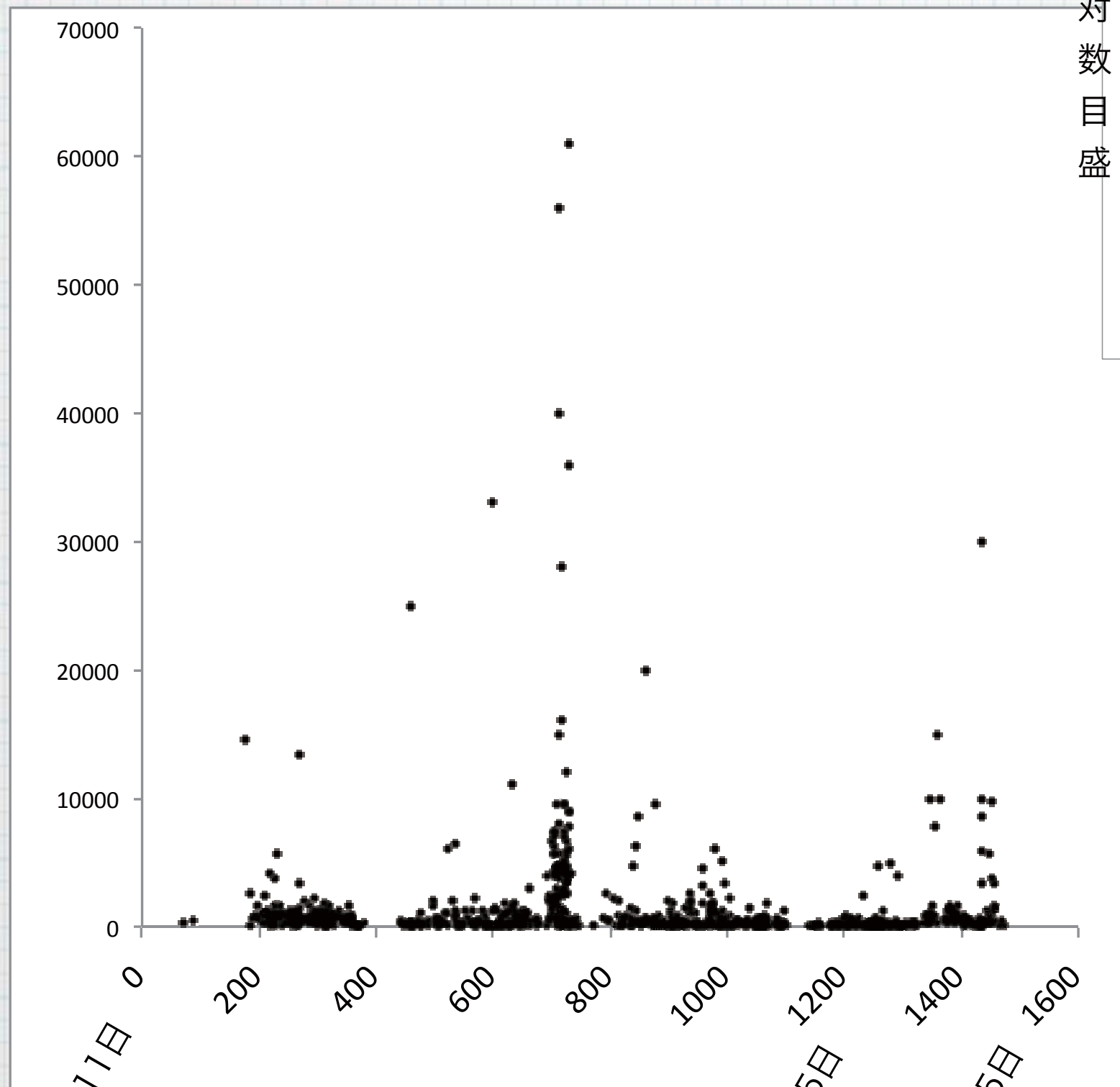
■ $\geq 10^4$
■ $\geq 10^3$
■ $\geq 10^2$
■ ≥ 10
■ ≥ 0
Bq./kg



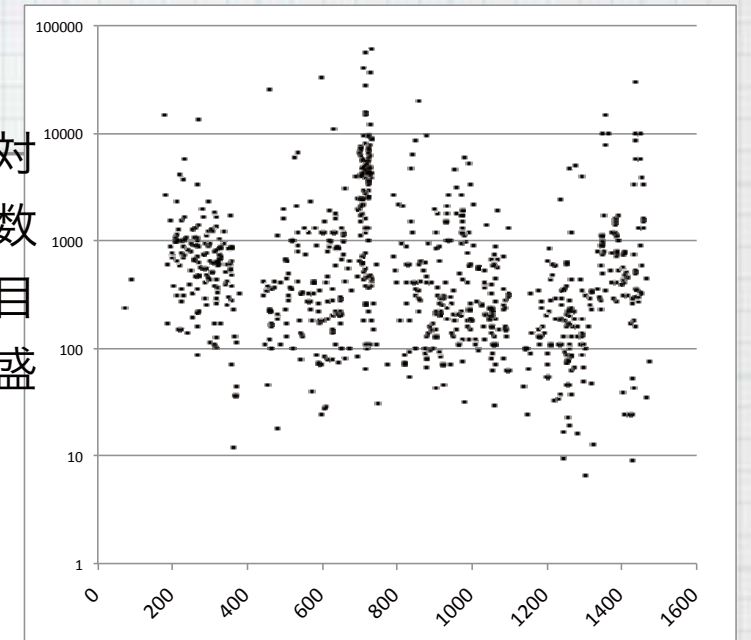
石田がエクセル表に再入力して集計

福島県内で捕獲されたイノシシの筋肉中放射線セシウムの量
 (Cs134, Cs137 合計) 福島県のホームページ資料を利用

福島県のイノシシ



対
数
目
盛



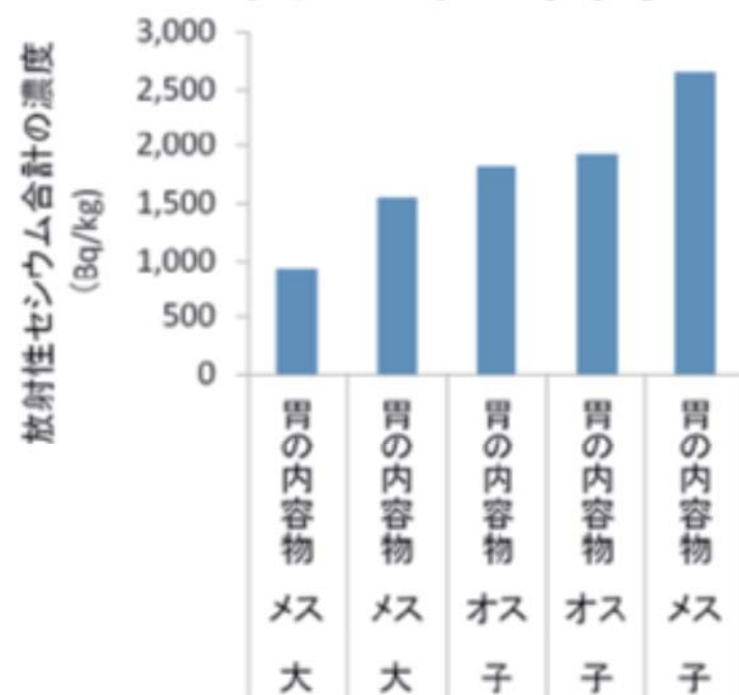
2011年3月11日

2013年6月15日

2014年4月15日

石田がエクセル表に再入力して集計

胃の内容物



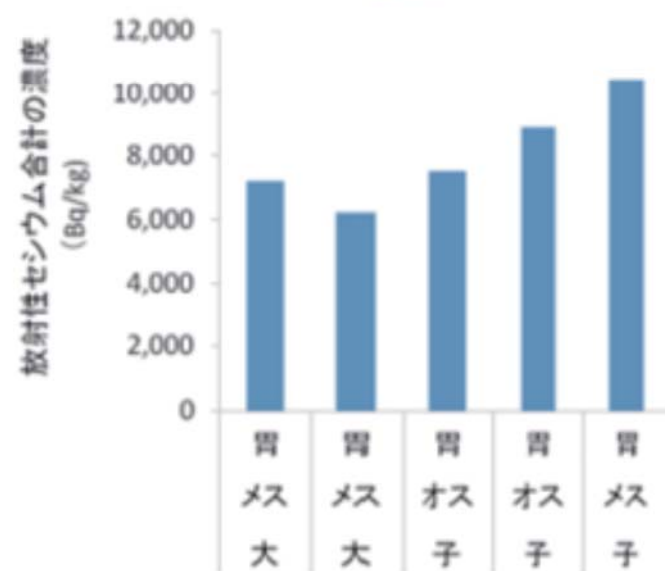
飯館村で駆除したイノシシ

個体間差

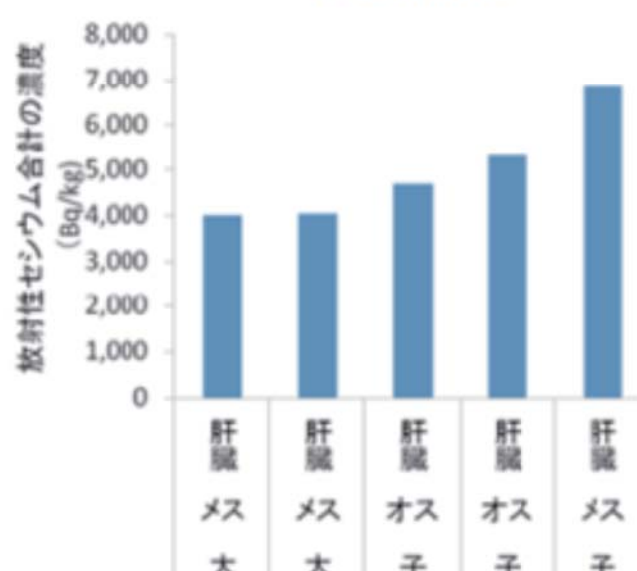
食べ物の違い？

田野井慶太郎氏作図、提供

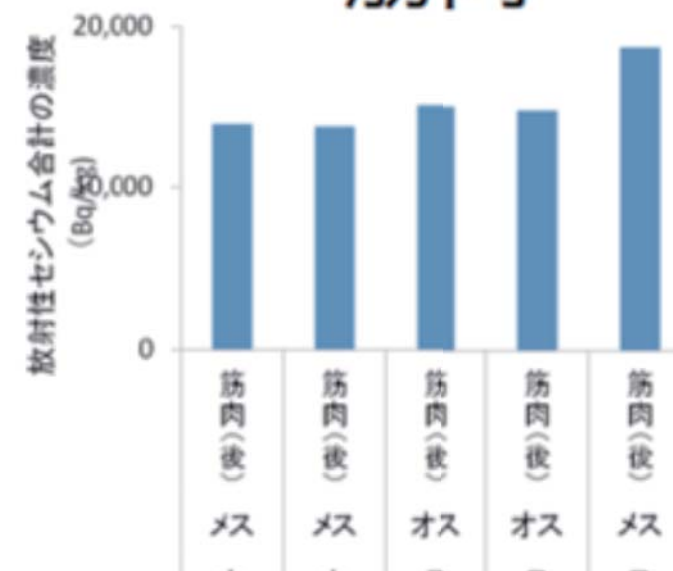
胃



肝臓



筋肉



<http://www.fukushima-saisei.jp/report201301.html#20130130>

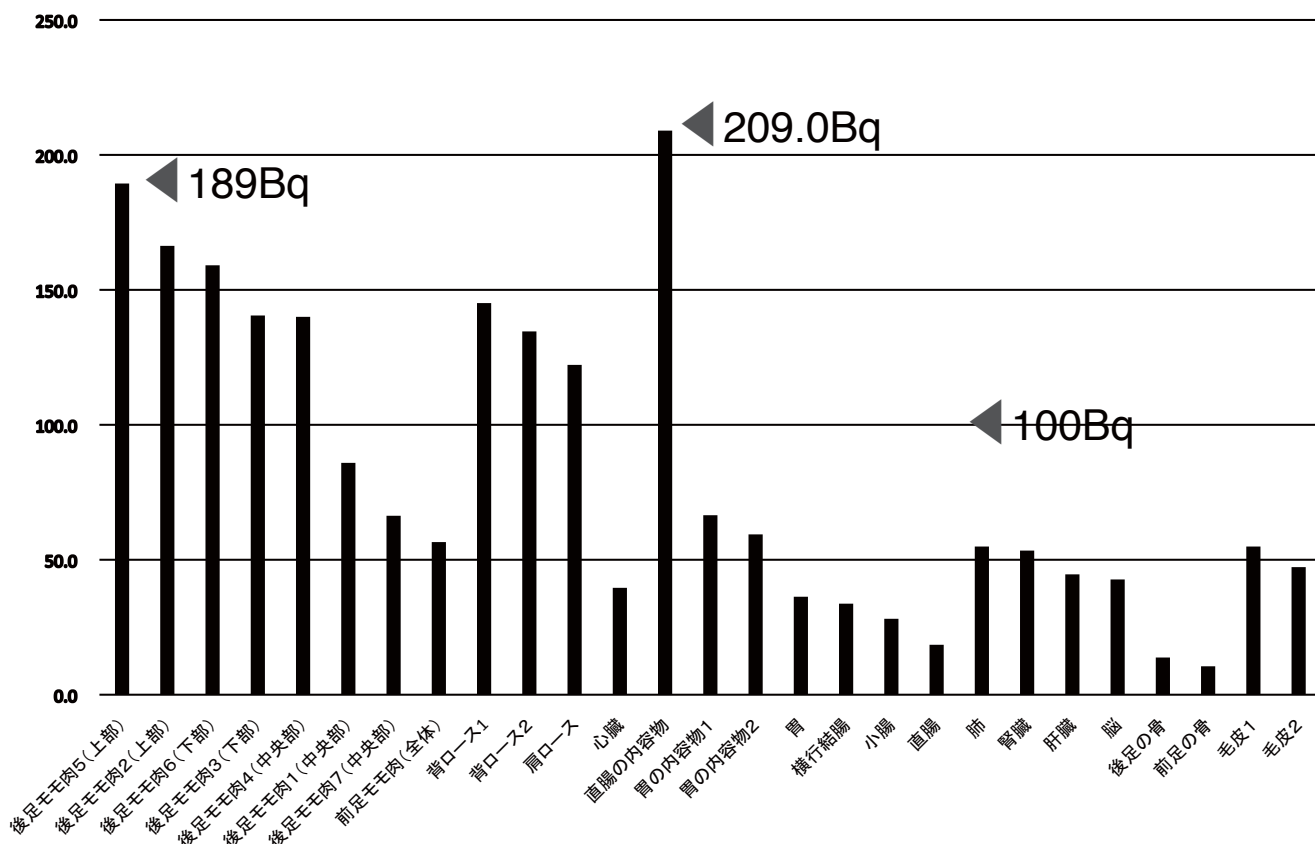
埼玉県秩父地方の民間の測定活動

秩父みんなの測定所 関根一昭・氏 提供

奥秩父山地(東大演習林周辺)のシカ2頭

▶ 後足もも肉（上2箇所、下2箇所、中央3箇所）、前足もも肉全体、背ロース2箇所、肩ロース、心臓
直腸内容物、胃内容物2種、胃、横行結腸、小腸、直腸、肺、腎臓、肝臓、脳、後足骨、前足骨、毛皮2箇所 測定

ハナコ測定結果
＝メス、3歳、48kg、大滝、2013年11月17日捕獲

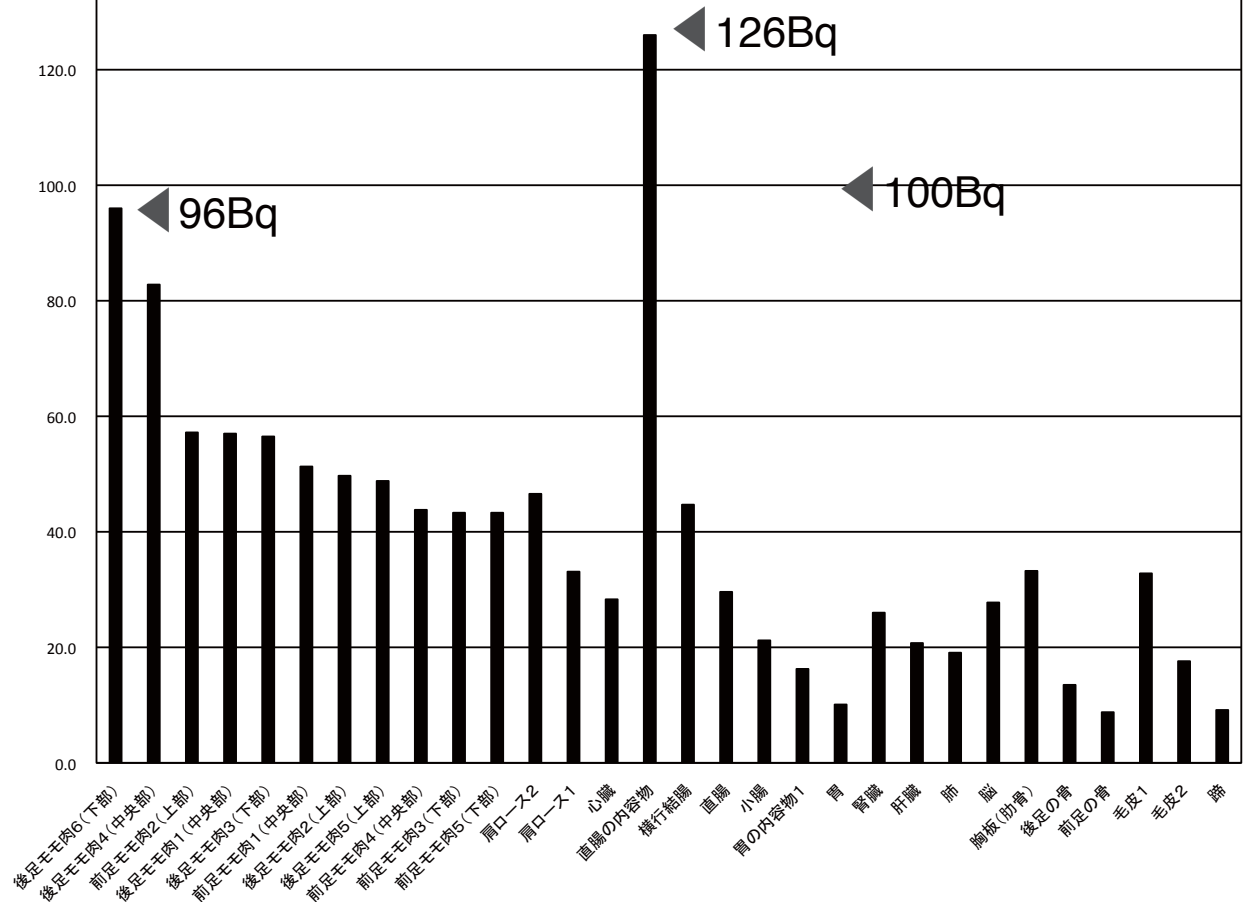


◀ 捕獲地点付近の腐葉土 198.2Bq

▼ 捕獲地点付近の土壌 316Bq/kg

タロウ測定結果

＝オス、7～8カ月、30kg、大滝、2013年12月1日捕獲



一般食品基準（100 Bq）を超過している。

- ・ハナコ＝メス、3歳、48kg、大滝、2013年11月17日捕獲
- ・タロウ＝オス、7～8カ月、30kg、大滝、2013年12月1日捕獲

(2) 測定結果の概要

- ・ハナコ＝骨格筋（モモ肉・ロース）の最高値＝189.4 Bq、最低値＝66.3 Bq、平均値＝127.8Bq。
- ・ハナコ＝内臓の平均値（骨・毛皮は除く）＝40.0 Bq → 骨格筋の平均値に対する比＝31.3%

- ・タロウ＝骨格筋（モモ肉、ロース）の最高値＝96.0 Bq、最低値＝33.1 Bq、平均値＝54.6 Bq。一般食品基準を超えたものはなかった。
- ・タロウ＝内臓の平均値（骨・毛皮・蹄は除く）＝25.3 Bq → 骨格筋の平均値に対する比＝46.3%

埼玉県秩父地方の地方自治体の測定

2014

Nov2, 121+413=530Bq/kg

2013

Oct.6, 60.1+142=200Bq/kg

$$\text{Oct. 21, } 310 + 510 = 820 \text{ Bq/kg}$$

2012

奥多摩町

入間市

所沢市

青梅市

250km



シカ（狩猟個体）の筋肉

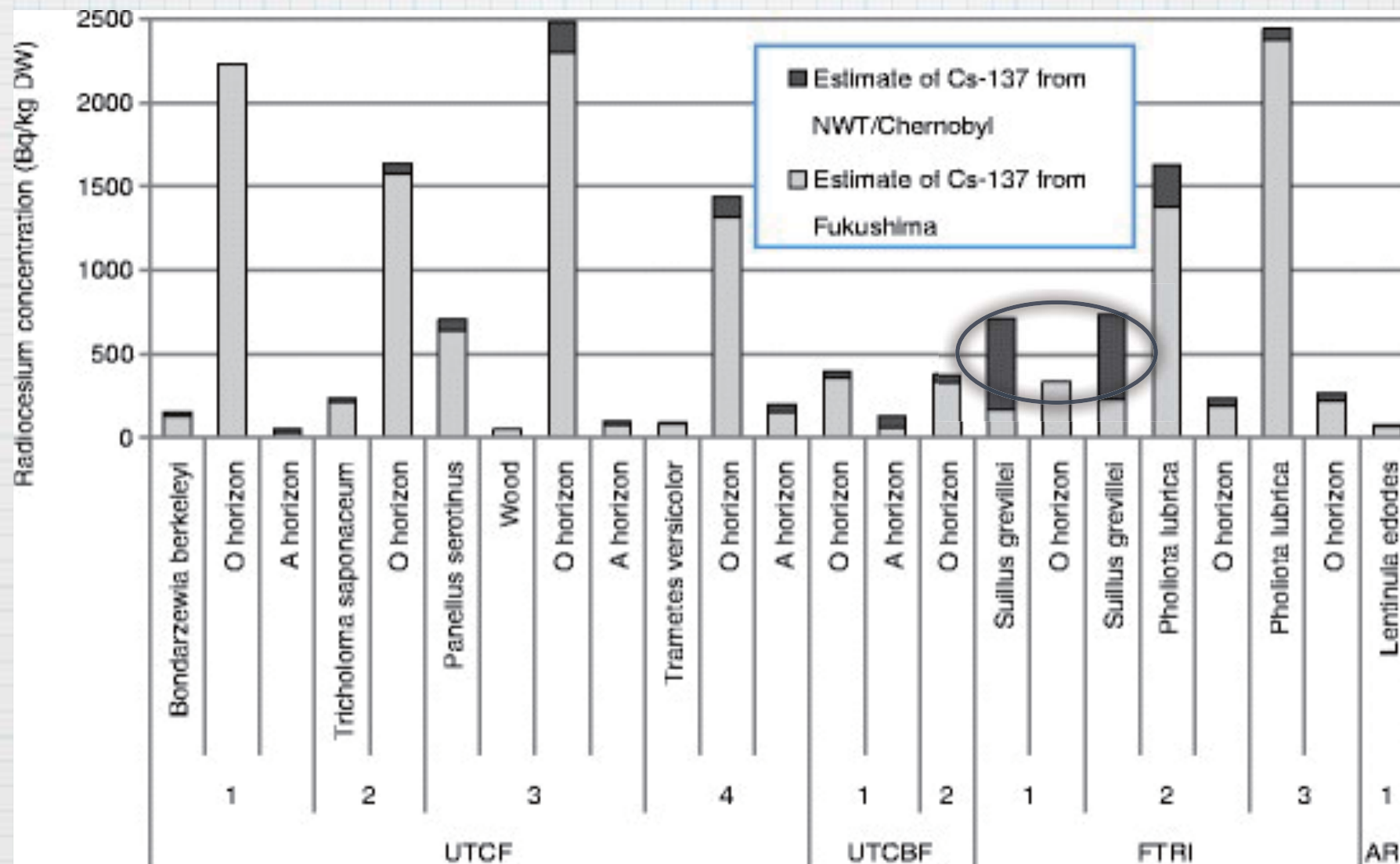
<http://www.pref.saitama.lg.jp/page/wildmeat.html>

キノコ（菌類）・シダなどは、高線量を長年維持

ヤマドリ Max.950Bq/kg(いわき*) の冬の主食 = シダ

キノコバエ、捕食者のトカゲ？

*ヤマドリについては、高線量地域からの捕獲データがまだない



埼玉県秩父

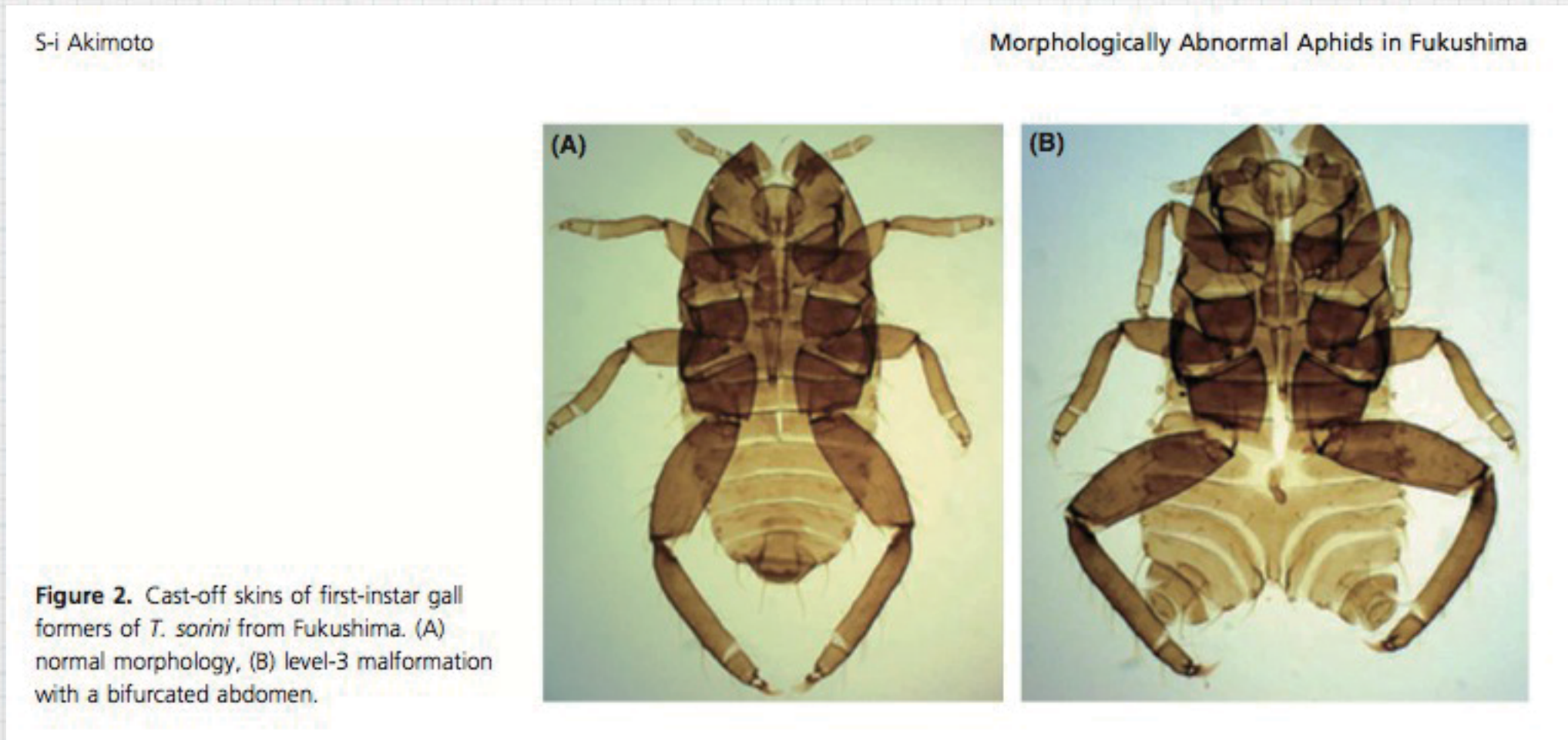
千葉県清澄

山梨県富士

“Implication... §15 東大演習林のキノコ

Akimoto (2013) から抜粋

他の場所ではほとんど見られない
顕著な変異も見られる



不完全変態のワタムシ

次世代に遺伝しない

子虫のときから手足触覚があつて形を見やすい 比較しやすい

Akimoto (2013) から抜粋

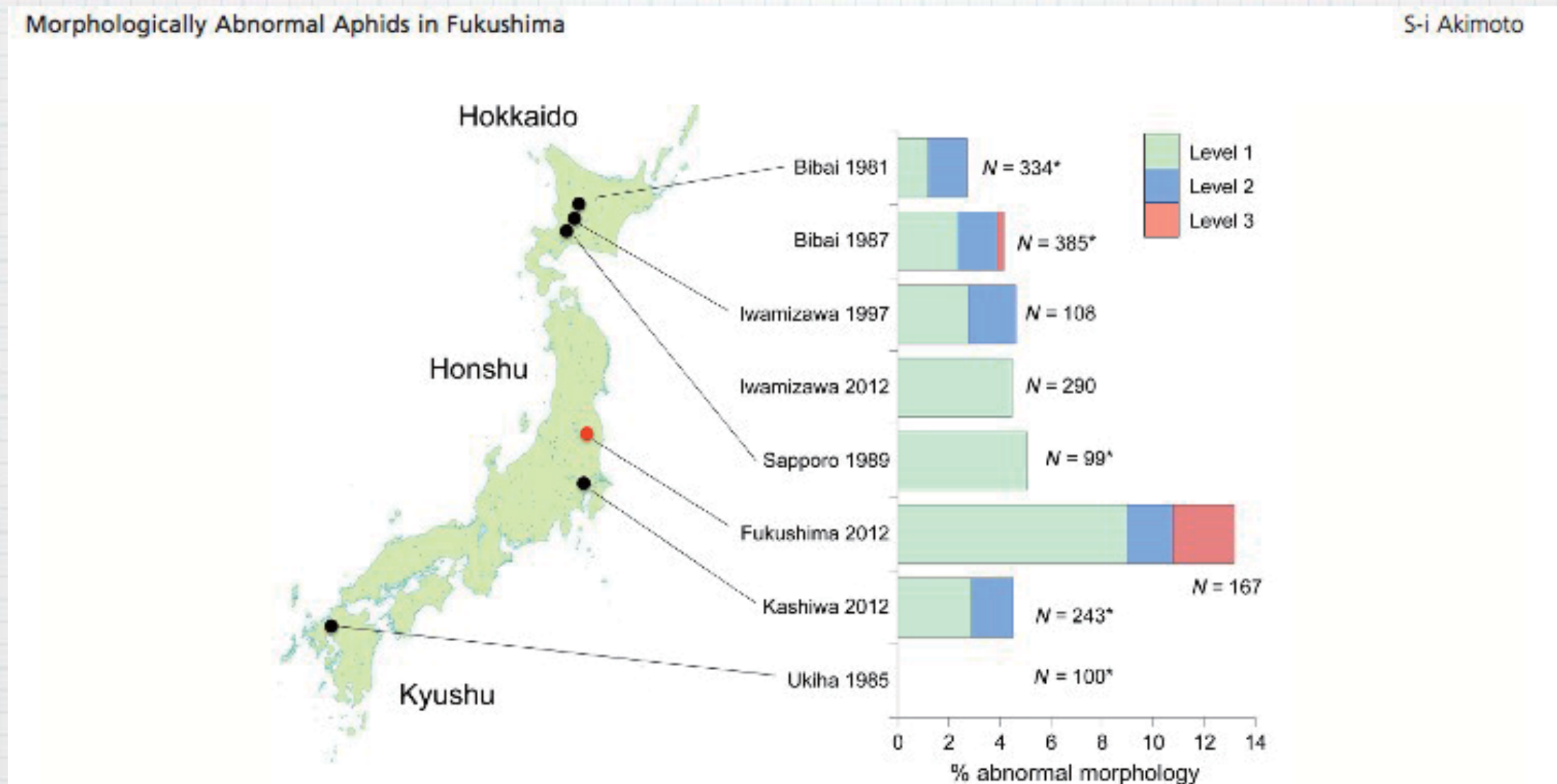
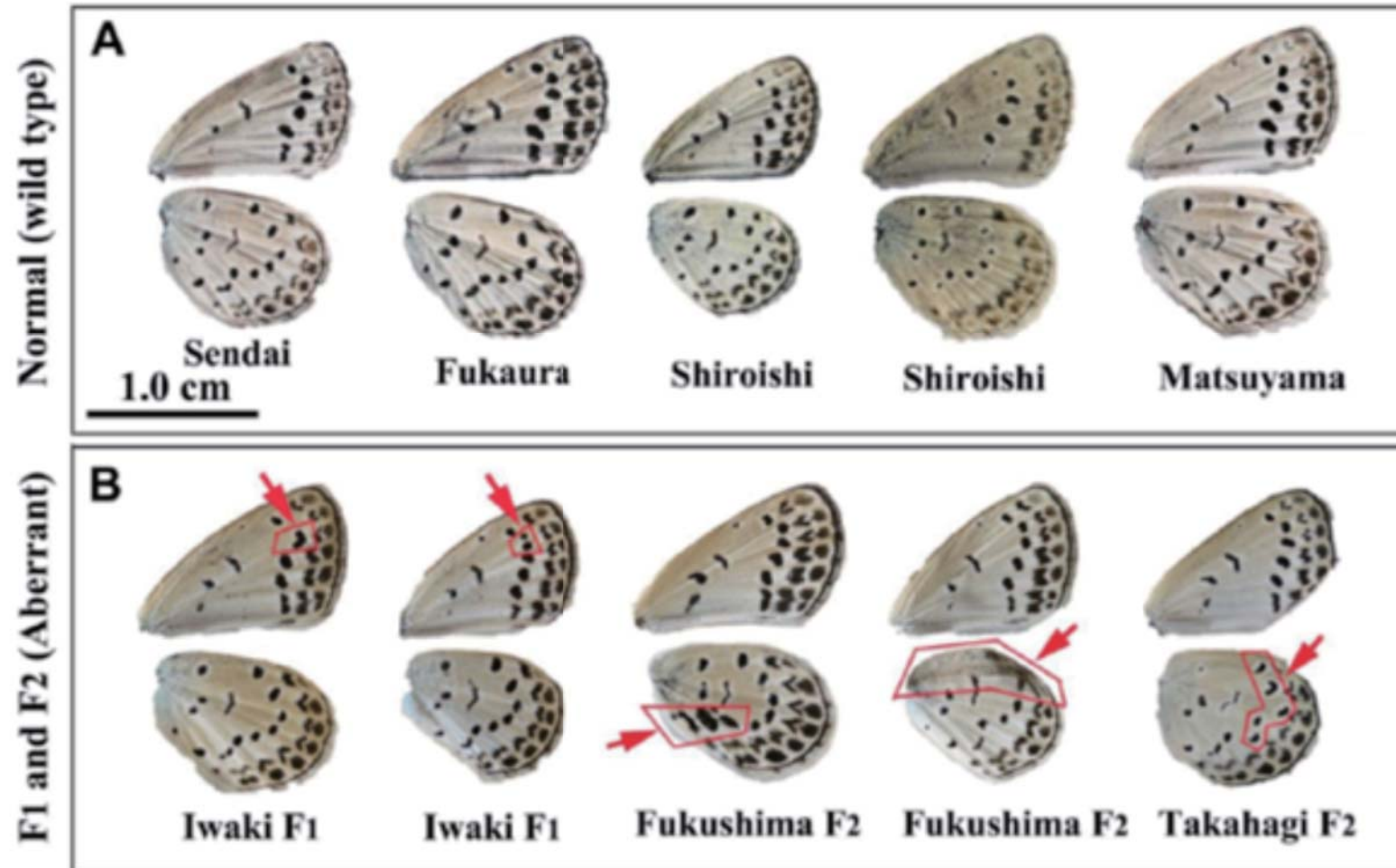


Figure 1. Percentage abnormal morphologies in *Tetraneura sorini* first-instar gall formers from eight populations. Asterisks in sample sizes indicate that first instars were collected from buds, whereas nonasterisked figures indicate that first-instars' cast-off skins were collected from galls. Level 1, slight abnormalities included the atrophy or bending of one leg (Fig. S2A,B), small ganglia on the ventral surface (Fig. S2C), partial fusion of adjacent abdominal tergites (Fig. S2D), and tissue necrosis in one leg or antenna (Fig. S3A,B). Level 2, abnormalities included the atrophy or bending of two legs and tissue necrosis in two or more appendages. I categorized the complete or partial loss of one appendage of first instars as level 2 (Fig. S3C,D). Level 3, intense abnormalities included the loss of two or more appendages, the loss of one leg and atrophy of another leg, the appearance of new features, and conspicuous asymmetry in bilateral characters.

福島第一原発の北西31km川俣町で異常個体率高い
2013年には率は低下

F1(子)・F2(孫)世代の斑紋異常



冷却ショック個体
【表現型可塑性】
斑紋変化は「異常」
ではない
斑紋変化のみで
他の形態異常は
伴わない

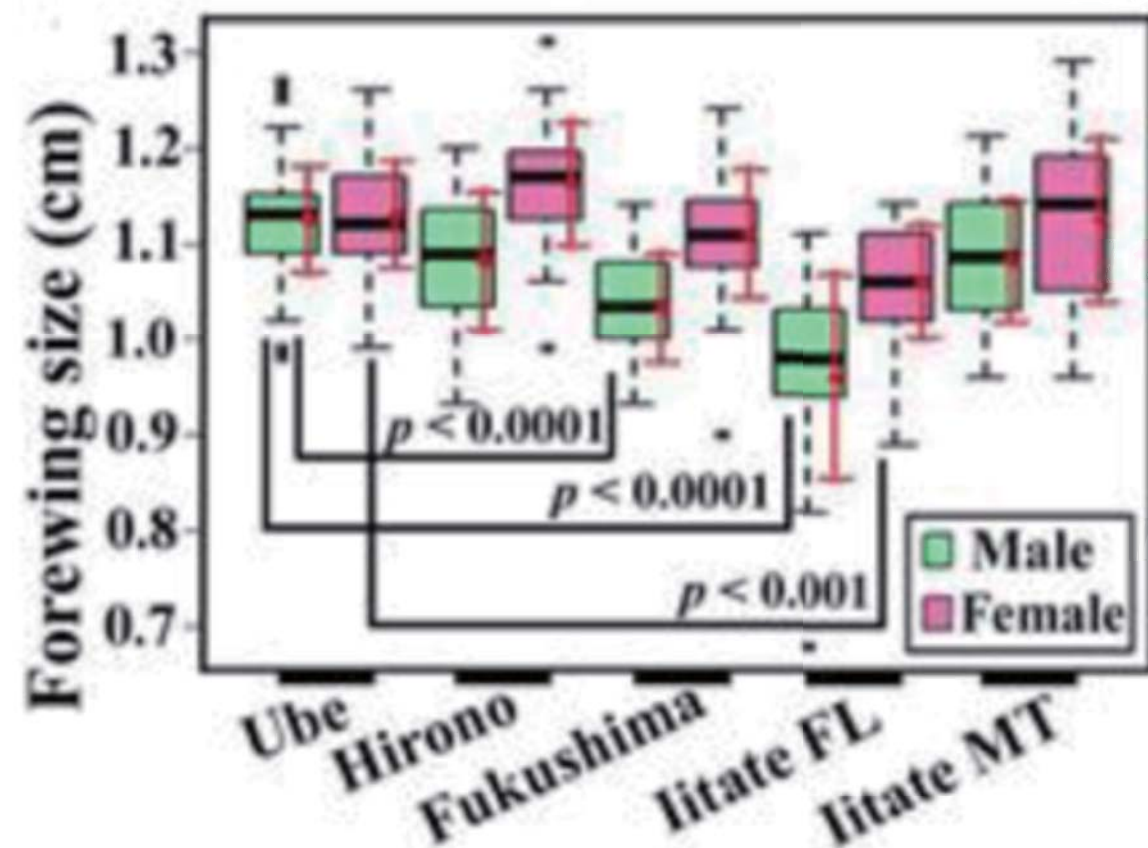
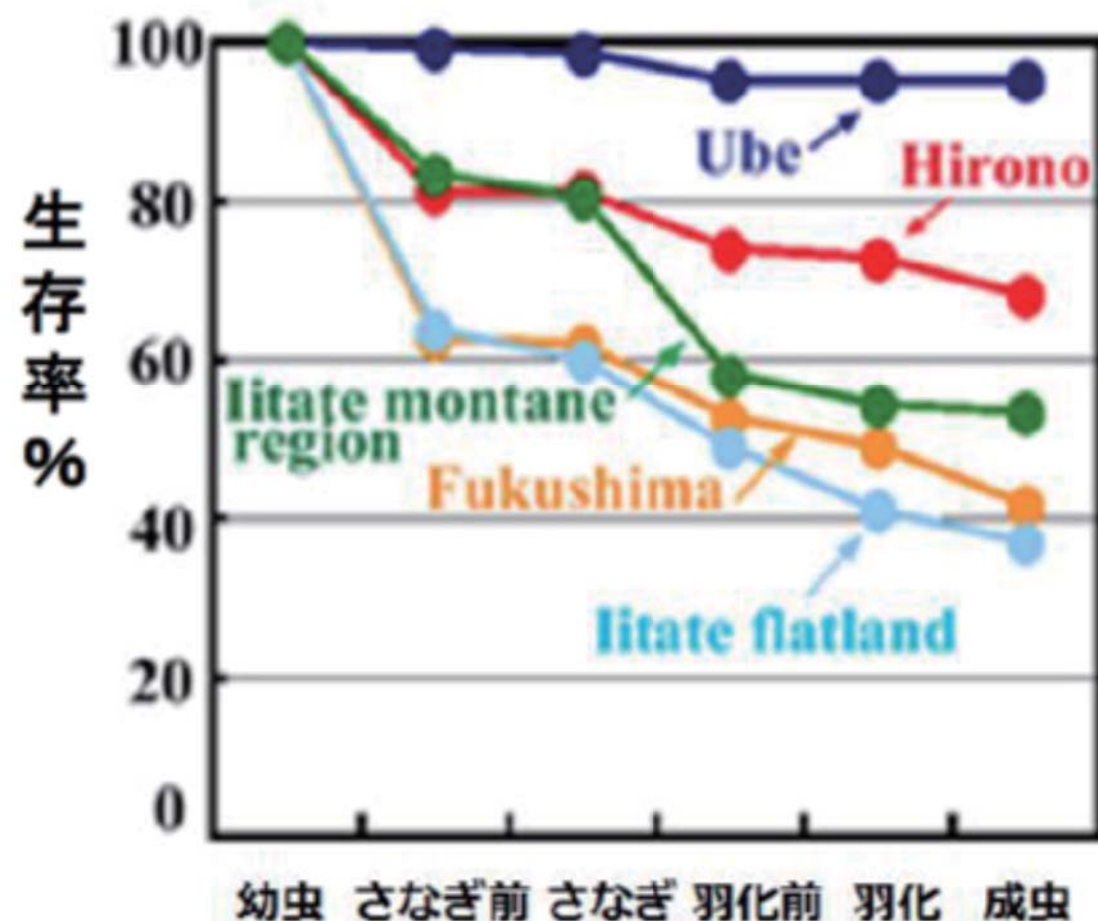
多様で法則性のない斑紋異常：他の形態異常・不妊・行動異常を伴うことが多い

見慣れた人には斑紋がよい指標になる

完全変態のヤマトシジミ
次世代に遺伝する

生存曲線と翅のサイズ

CS134+CS137
Bq/kg
餌にしたカタバミの線量



野外データが再現された。
 線量に依存した生存率低下
 翅サイズの縮小【成長遅延による矮小化】

沖縄産の飼育個体に各地のカタバミを給餌

各幼虫が食べた食草の総量は、平均 $\pm$ SD = 0.327 ± 0.038 g; n = 5)

幼虫期を 通して幼虫が摂取した放射性セシウムの蓄積量を推計；

餌のカタバミの産地

宇部 0.00038 Bq

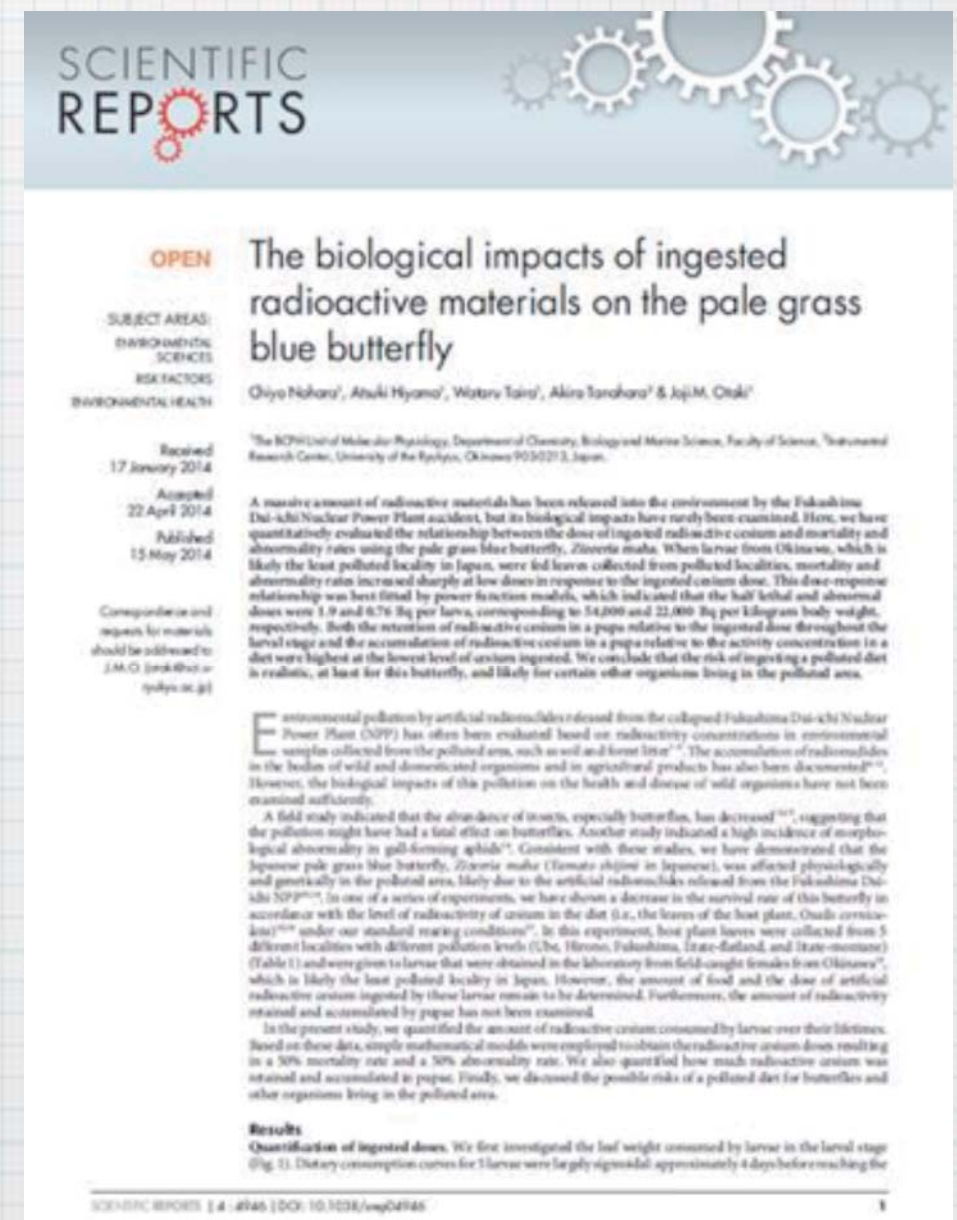
広野 0.58 Bq

福島市 2.8 Bq

飯舘平野部 3.3 Bq

飯舘山岳部 16 Bq

幼虫はすべて沖縄で採取した者ども



閾値 があるように見える

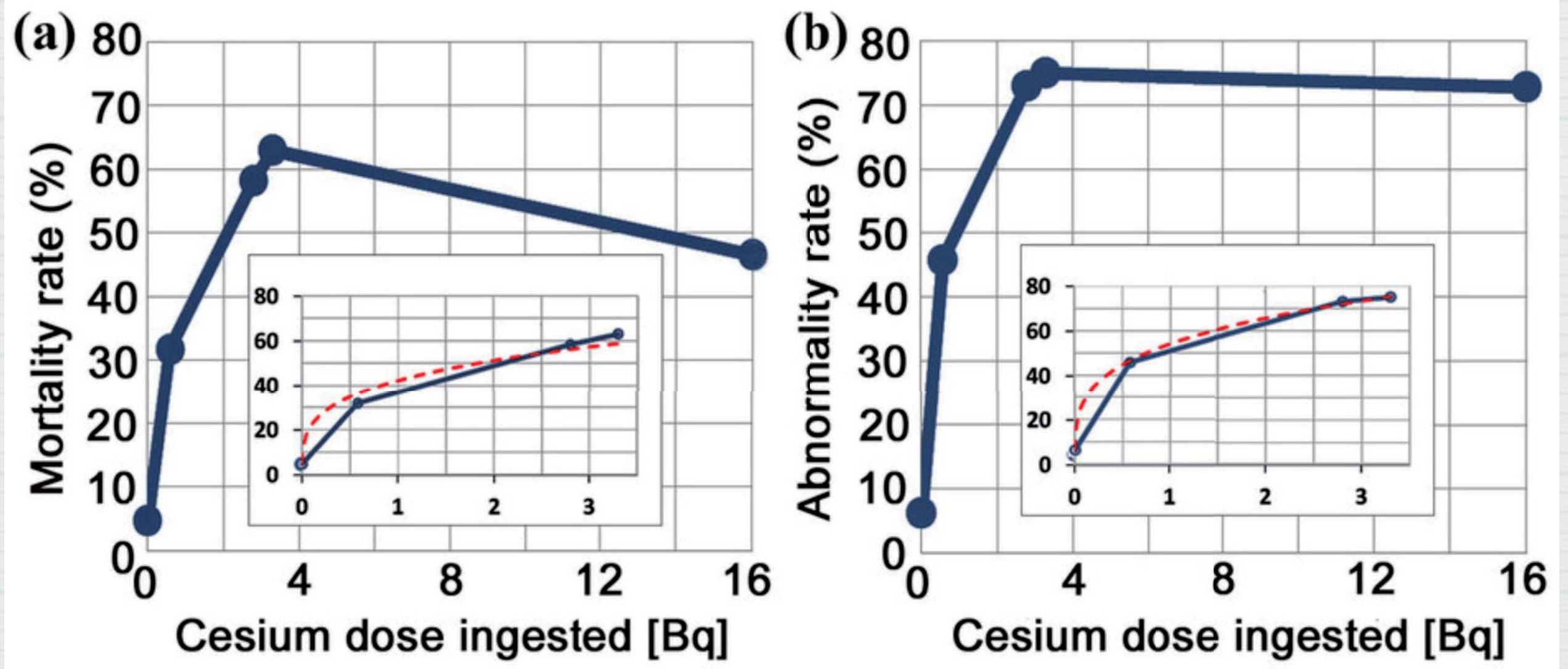


図2. 放射性セシウム摂取量に対する、幼虫1個体あたりの死亡率(a)と異常率(b)

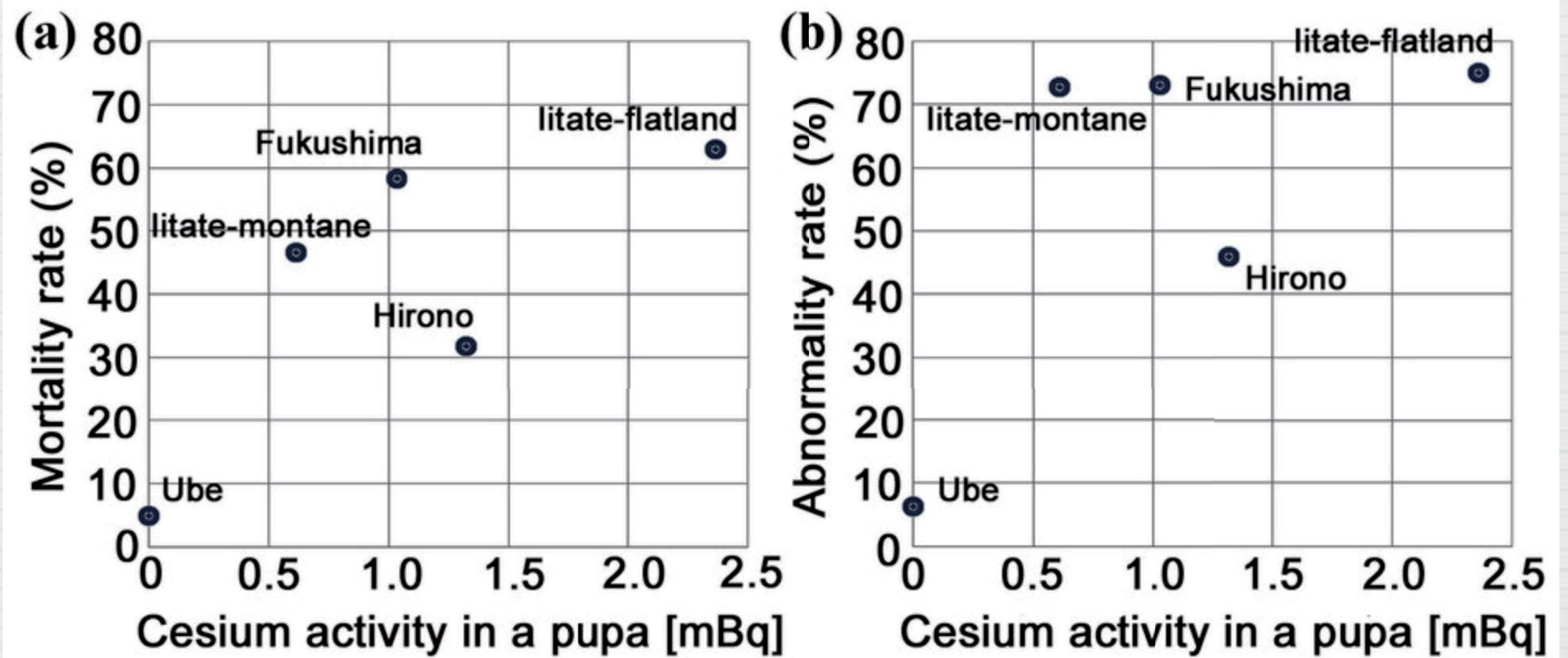


図3. 蛹内のセシウム線量と死亡率(a)、異常率(b)の関係

閾値 で影響が変わる >> 福島と宇部とも見える

比較地点 (control) が宇部（山口県）のみ

放射性セシウム以外の要因は入っていないか？

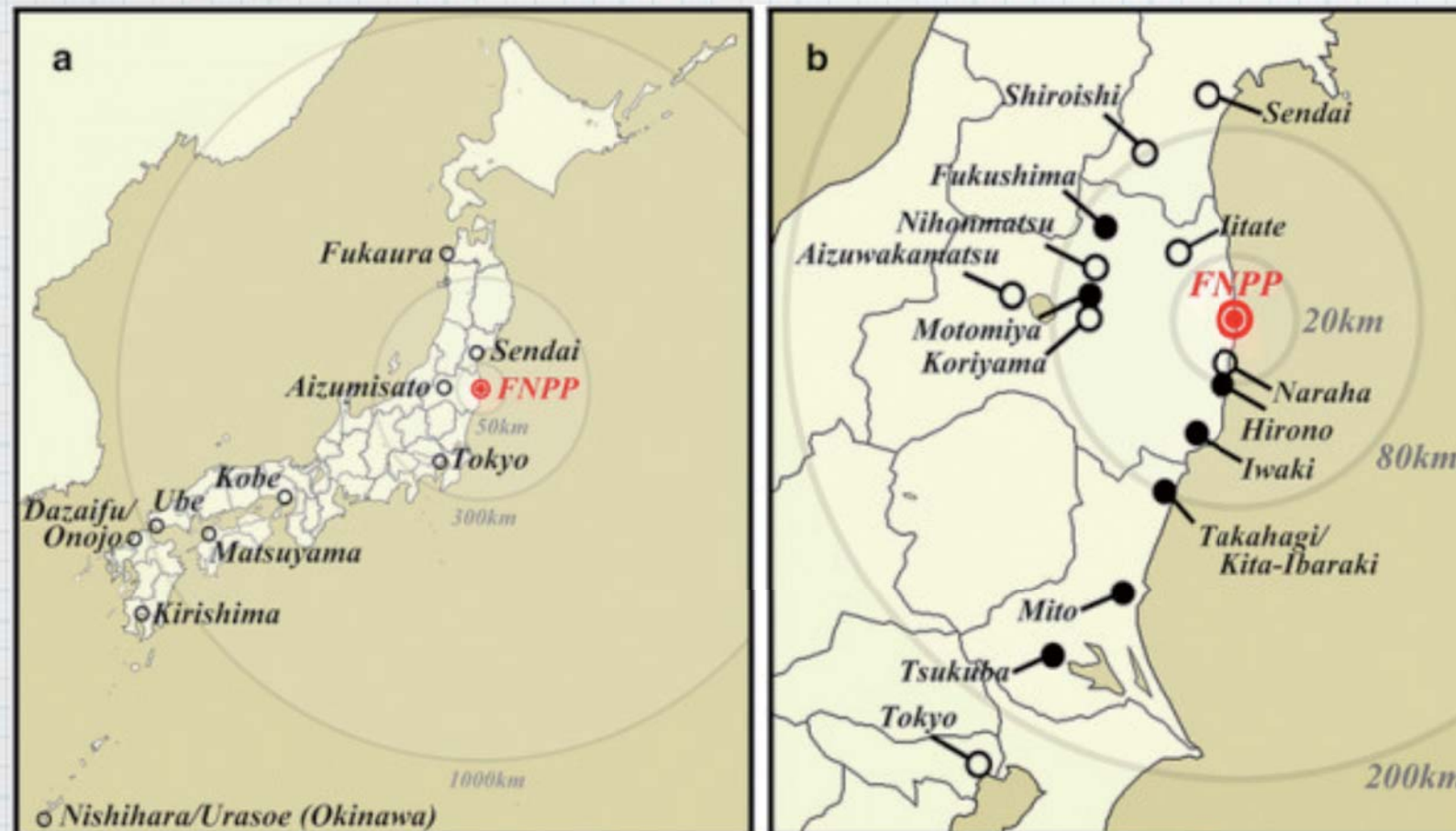
（気候が異なるとカタバミの葉の性質も変わるかもしれない。地域によって、殺虫剤、除草剤等の使い方が異なるかもしれない。宇部のカタバミはどのような環境から採ったものか。東京の街中にもカタバミはある。）

いずれにしても、宇部と福島の生存率、異常率の差は大きい。原発から出た現地の放射線の影響はあったと、考えるのが妥当だろう。

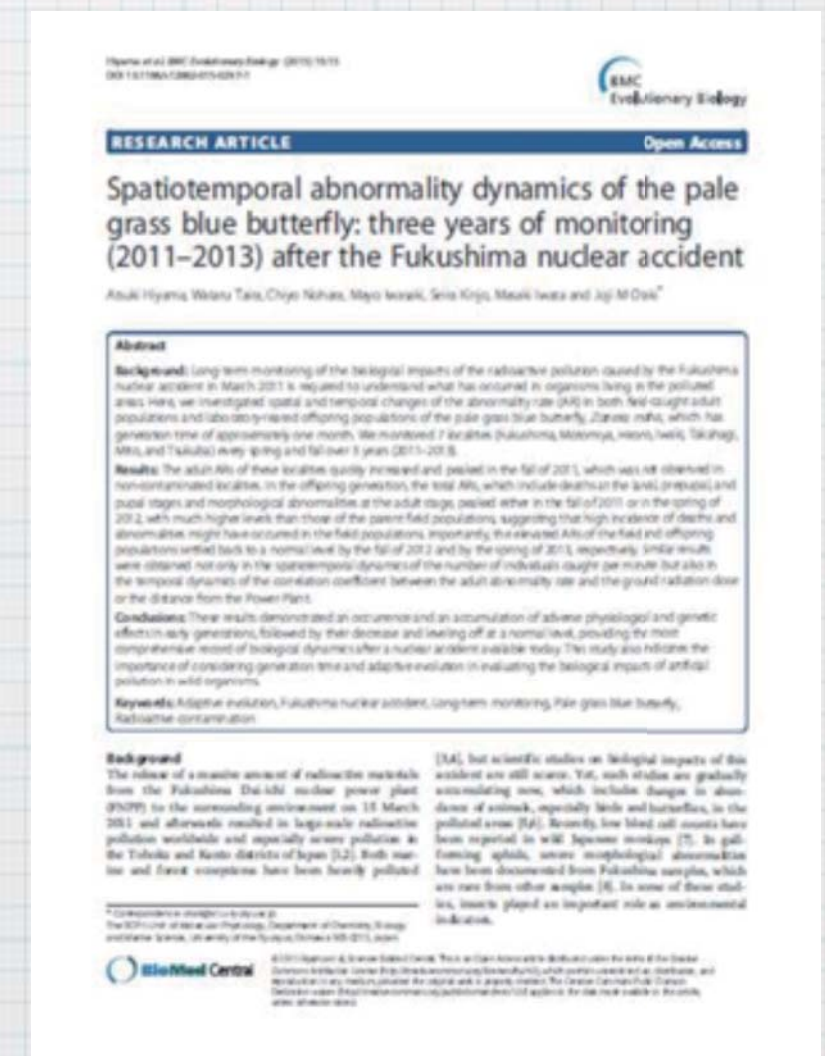
閾値の意味は？ 個体差（一定の割合で「抵抗性」の遺伝子を持った個体がいるなど）

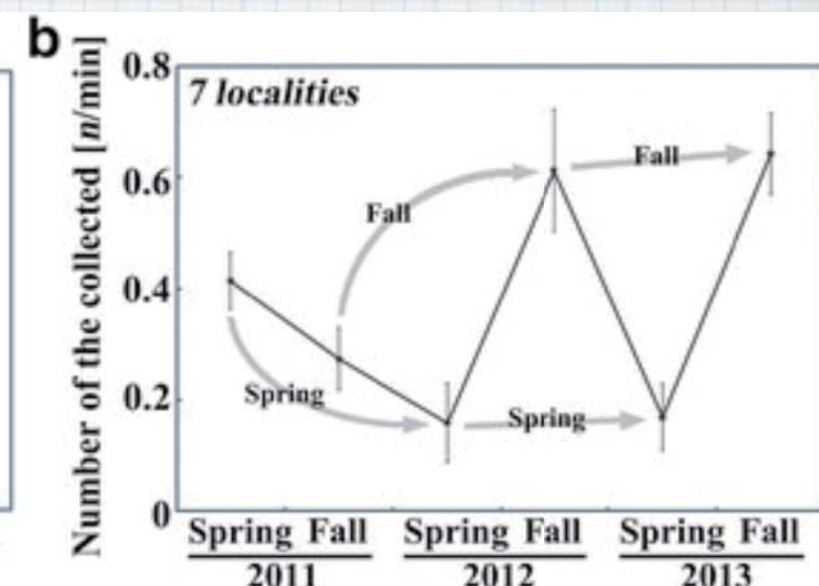
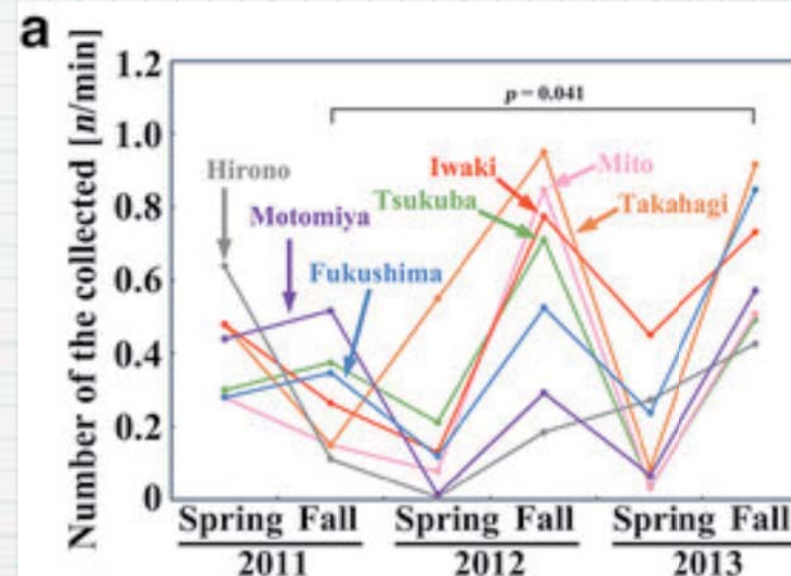
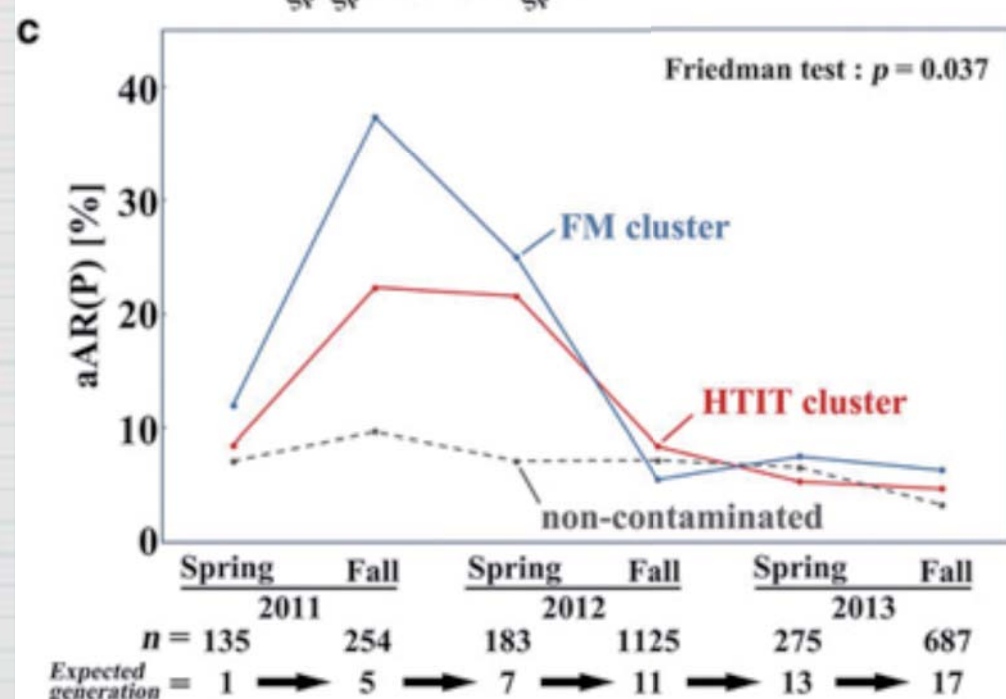
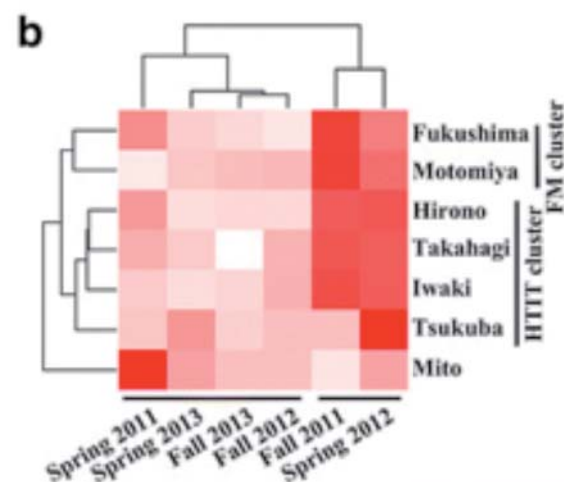
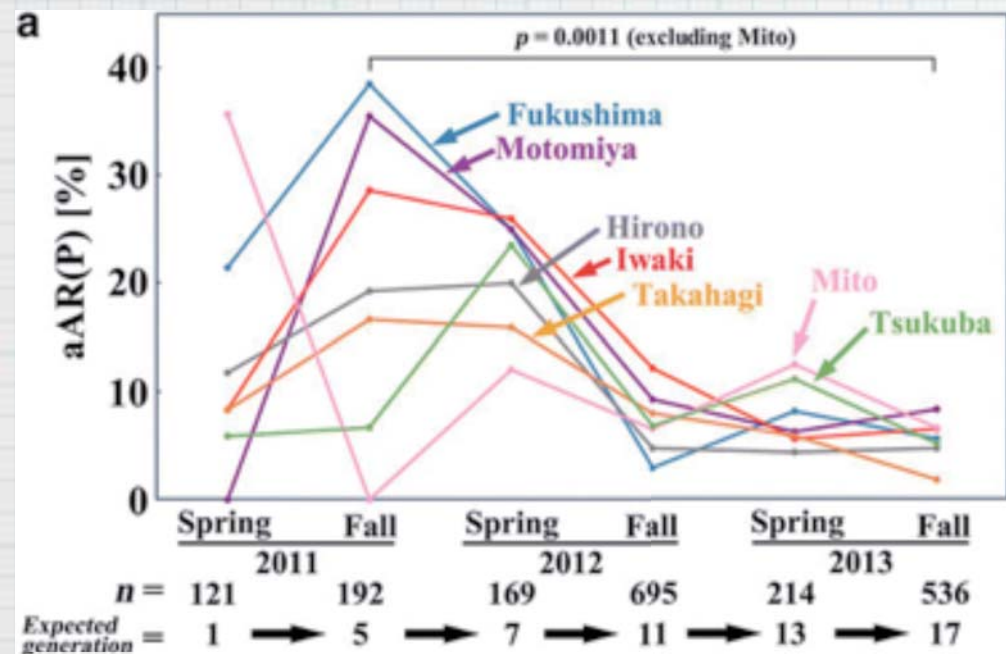
第三者の、再検証も待たれる。（同種、別種）

事故後 3 年間の経過、個体数は回復し、異常率は低下した。



春と秋に、各地で成蝶を捕獲
虫取り網を振った時間あたり捕獲数
翅の斑紋異常を計数





捕獲数 / 分 は2012年に回復している
春より秋に密度が高い

石田が
高線量地点 (赤宇木・小丸等)
に行った実感では、2012年中も
いなかった

翅の斑紋異常率は2012年秋に低下

2011年は、放射線だけだったのか？
いわき では津波や地震、それにともなく人の活動の大変化など、いろいろ起こっている。
東北南部・北関東のヤマトシジミはもともと斑紋異常率が高めだったかもしれない。閾値 → 一定割合の感受性の高いヤマトシジミ個体がいるなど。

シジミチョウの**個体群**への影響を判断するには、別の基準が必要となる。シジミチョウの野生個体の生存率は不明。大多数の個体は捕食されたり、事故、食物不足、病気（寄生者）などの原因で成虫まで生き残れない。

シジミチョウの実験室でもっとも低かった、成虫までに**40%**生存という率は、人の保護のもと、食物を与えられた結果としては低くても、自然の中での生存率よりもかなり高い。

もっと、西日本な比較するデータが欲しい。

野外では、通常、平均的な（頻度の高い）形質の個体の生存率が最も高い。 ダブネ島のダーウィンフィンチの研究参照

確かな 事実 の部分

何が起こっているのか = 攪乱 (生態学用語)

地震・津波・原発事故 いずれも

大きな、新しい、環境変化 を起こした

それらに伴って、人間が起こしている

新たな活動変化も大きな攪乱を

自然生態系・野生生物に与える

今日の要点：

- 自己紹介
- 生態学の 概念 と 放射能汚染の生態影響
- チェルノブイリ原発事故後の野生生物
- 福島第一原発事故後の野生生物事例
- 福島第一原発事故、「高線量地帯」での
石田の研究事例
 - ウグイスの羽毛汚染
 - 鳥類群集の定点カウント・録音
 - これからの課題、ウグイス等の活動評価
- どうなる、原発、放射能と環境

Research site
場所



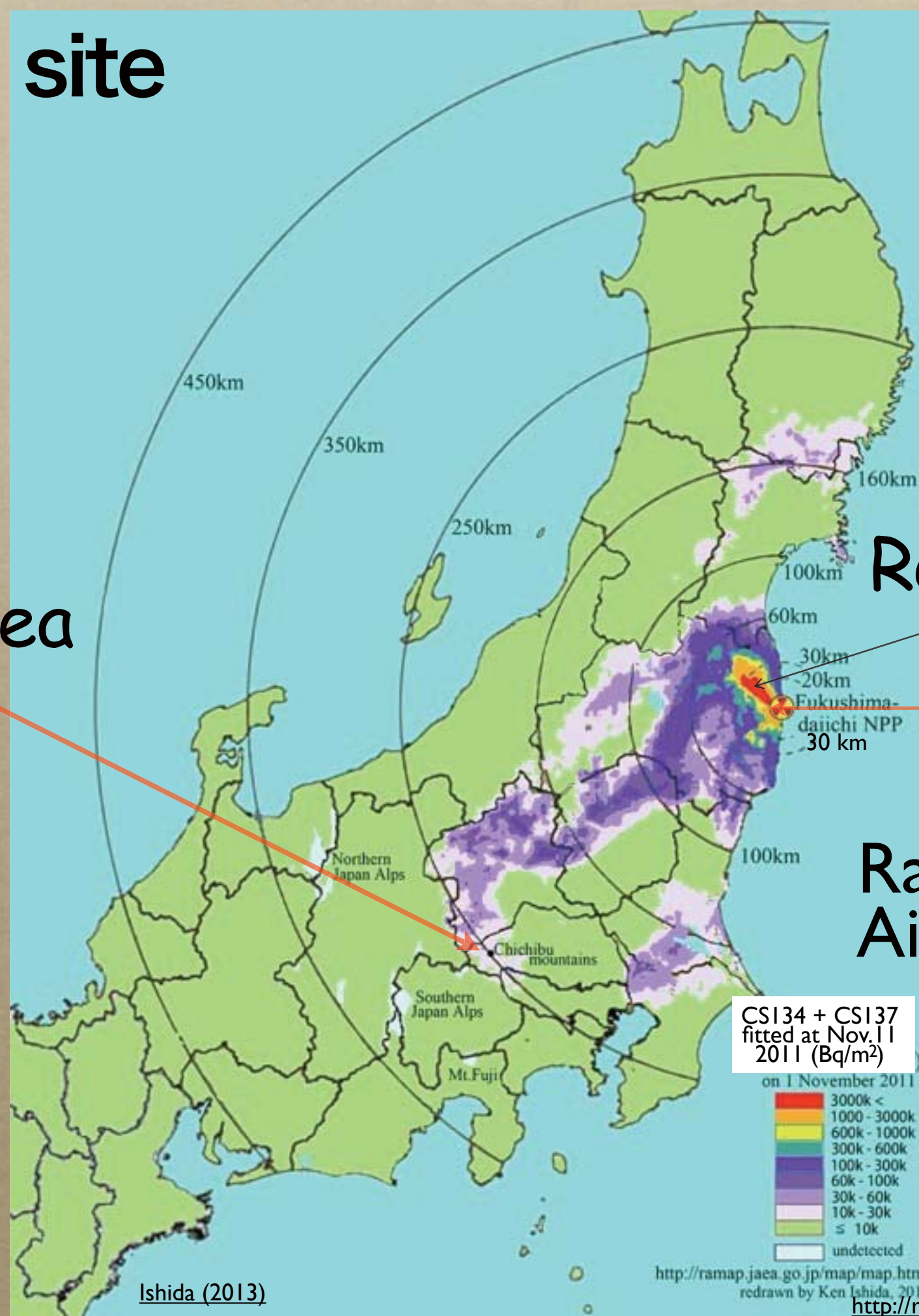
比較地点

Control Area

Chichibu
mountains

ウグイス

Bush
Warbler



Resesrch Area

F1 NPP

Fallout
Radioactivity
Airborne Survey

by MEXT Japan
November 25, 2011

Ishida (2013)

<http://ramap.jaea.go.jp/map/map.html>
redrawn by Ken Ishida, 2012

<http://radioactivity.mext.go.jp/en/list/203/list-1.html>

Abukuma mountains 阿武隈山地

“satoyama”
landscape on the
highland about
600~800m asl.

阿武隈高地 の里山景観

*temperate forest,
paddy fields,
farm land,
plantation forest,
streams



Akaugi valley

Omaru farm

~170 km N - S,
(~ 50 km E - W)

~55km

“Nakadori” plain

高原、緩傾斜、残丘陵群

gentle slopes, mixed landscape

急傾斜

steep slope

small valleys

高原
high-land

“Hamadori” plain



阿武隈川

Profile of
Abukuma
Mountains

FI NPP
太平洋

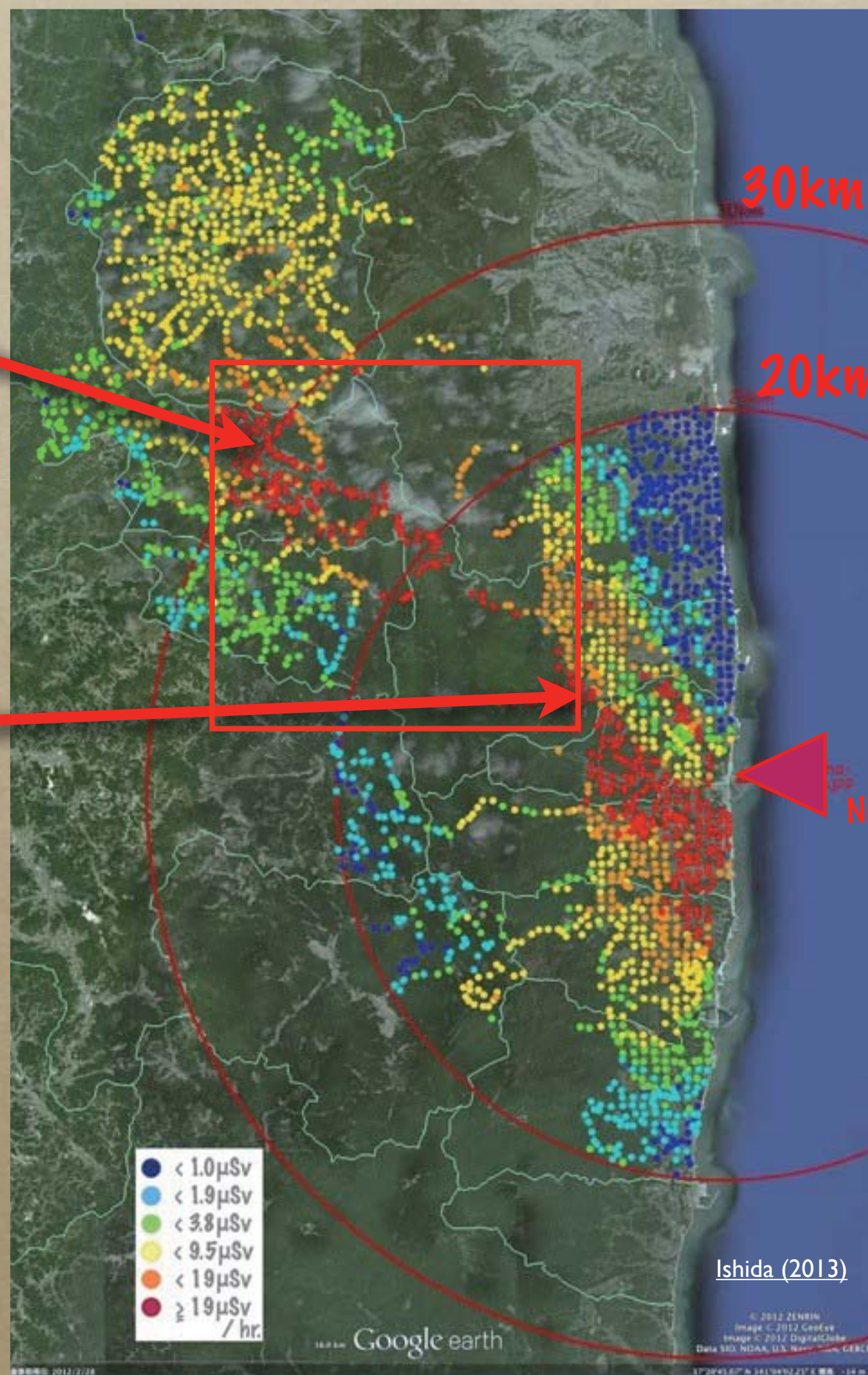
調査地点
area

浪江町赤字木
高放射線量地帯

hot spot
Akaugi

浪江町小丸
Omaru

● < 1.0 μSv
● < 1.9 μSv
● < 3.8 μSv
● < 9.5 μSv
● < 19 μSv
● $\geq 19 \mu\text{Sv}$ / hr.



地上1cm線量率地図



monitoring
in 2011

samples at
1cm above
the ground,
a survey by
research
consortium

Fukushimadaichi
Nuclear Power Station

data sets with
0cm, 1cm & 1m
above ground

文科省発表
2011年9月1日

Ministry of Education
and Science

浪江町赤字木谷周辺の景観

主に樹林、水流

北



飯舘村長泥

浪江町赤字木

高線量地点

2014年5月 BIZWORKS (株) パラモーターグライダーによる空撮

川俣町山木屋周辺の景観

北 ←

樹林・農地の混在、水流



比較的低線量地点

2014年5月 BIZWORKS (株) パラモーターグライダーによる空撮

ウグイスの**研究対象としての**特長 What's Bush warbler like?



日本ならどこでも、たくさん、いる
everywhere, abundant

a voice of the song

人の避難の影響小?、捕獲しやすい、多資料可
either with and without human residence

日本人なら誰でも知っている
every person knows its sound
オスはいつもさえずっている(すぐ見つかる)
males are always singing during breeding

托卵するホトトギスがいれば営巢している
apparent parasite cuckoo makes large voice

ホトトギスの声はよく通り、明快
The cuckoo song is loud and clear.

- wintering
- imigration
- sing
- moulting
- emigration

● 分散

● 換羽

8月
August

● 越冬



渡来 arrival
mid March
3月中旬
阿武隈高地の場合

営巢

● 繁殖 オスはずっとさえずる

繁殖
と
越冬

積雪あり

繁殖
と
越冬

繁殖期にだけ生息



多雪
西方、会津山地

積雪
ほとんど無

環境省学術捕獲許可取得

藪を刈り払って
かすみ網で捕獲する



2011.8.11 Akagi, Namie, Fukushima

2011.8.11 Akagi, Namie, Fukushima

録音した声を流す

かすみ網で捕獲する



2012.8.13 Akaugi, Fukushima

a warbler captured with mist net (Akaugi)

What happened ?

2011年
5個体捕獲

2AB 88968 - 88971 captured in August, 2011



8月の捕獲個体・換羽前

換羽中につき、すぐ抜ける

同地点で翌年は別個体が捕獲された・・・帰還率・生存率はもともと一定のそれほど高くない率。野生生物はそういうもの。

2012年
|| 個体捕獲

7・8月の捕獲個体・換羽前

captured in July & August, 2012



2013年
16個体捕獲

6・7・8月の捕獲個体・換羽前

captured in July & August, 2013

Omaru



Hiruzone



H



B



2014年
12個体捕獲

7・8月の捕獲個体・換羽前

captured in July & August, 2014

Omaru



G



G

♀



C

2013年からの再捕獲個体



今後、帰還率・生存率の経年変化や、秩父産地の結果とも比較していく。

adult bush warblers

ウグイスの成鳥の捕獲個体の結果

	normal	lesion
	正常	おでき
赤字木'11	3	1
赤字木'12	4	0
赤字木'13	14	0
赤字木'14	21	0
和歌山	?	2
秩 父	224	0

* Exact test --- Mann-Whitney U test
 $Z = 7.48331, P = 0.0175439 (= Sw / S; Sw = 4, S = 228)$

<http://aoki2.si.gunma-u.ac.jp/exact/utest/utest.cgi> 使用

imaging plate test of BW feathers

ウグイスの羽根を採取して線量測定

Sep.2, 2011 RI Management Center
GS Agr. Life Sci., U. Tokyo

imaging plate

feather samples

イメージングプレートを使った検出

田野井先生の手、一部画像処理してあります！

radio exposure test with an imaging plate

2011年の羽根

3-day exposure

短期間 密着後

EtOH洗浄後の羽

...効果なし！

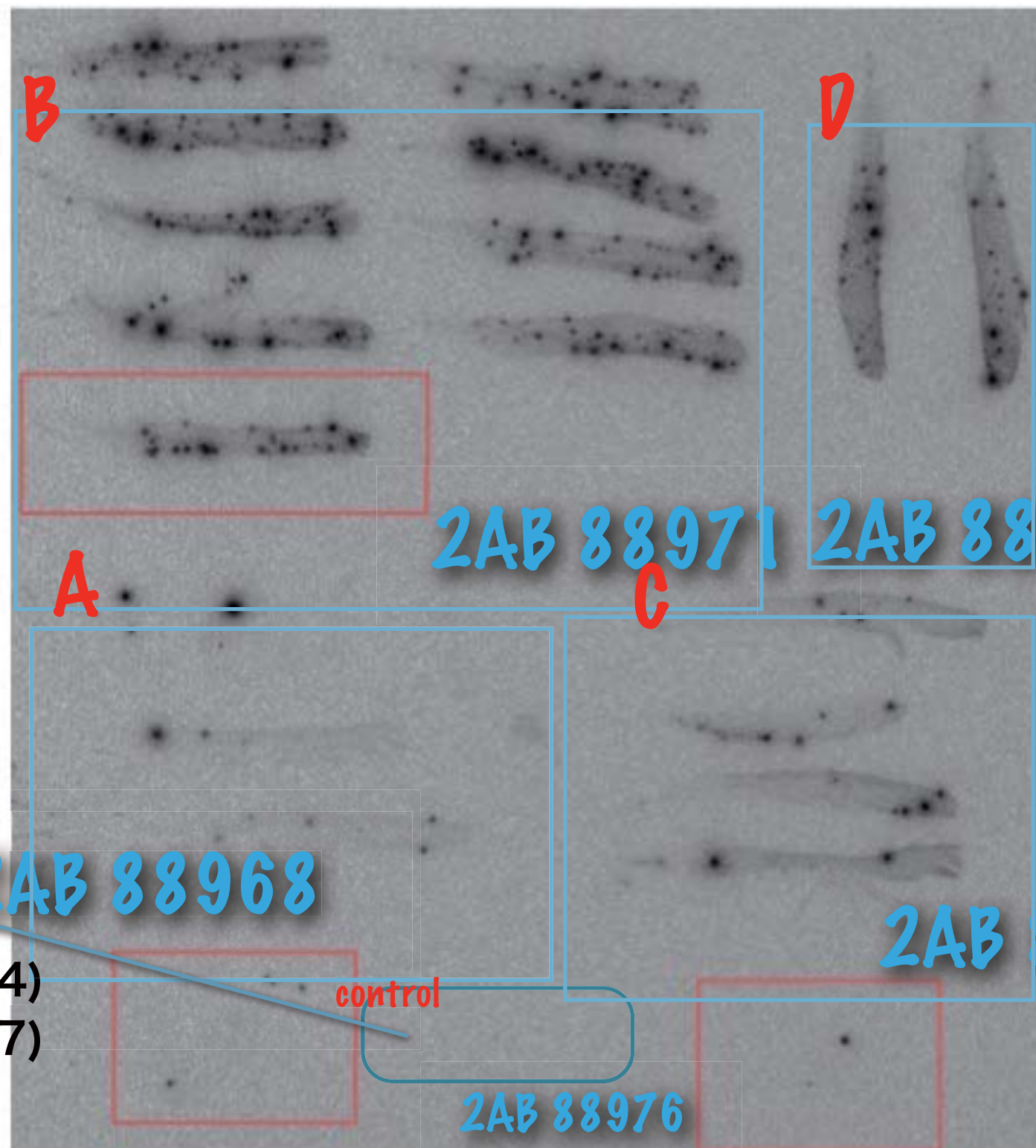
no image from
October feathers

赤枠が洗浄した羽と、
その時の脱脂綿2つ

ここに秩父の
コマドリの尾羽
(∴ 浪江の印影は
非・自然のK40)

地点 **B** 50~230Bq/g (Cs134)
80~320Bq/g (Cs137)

D



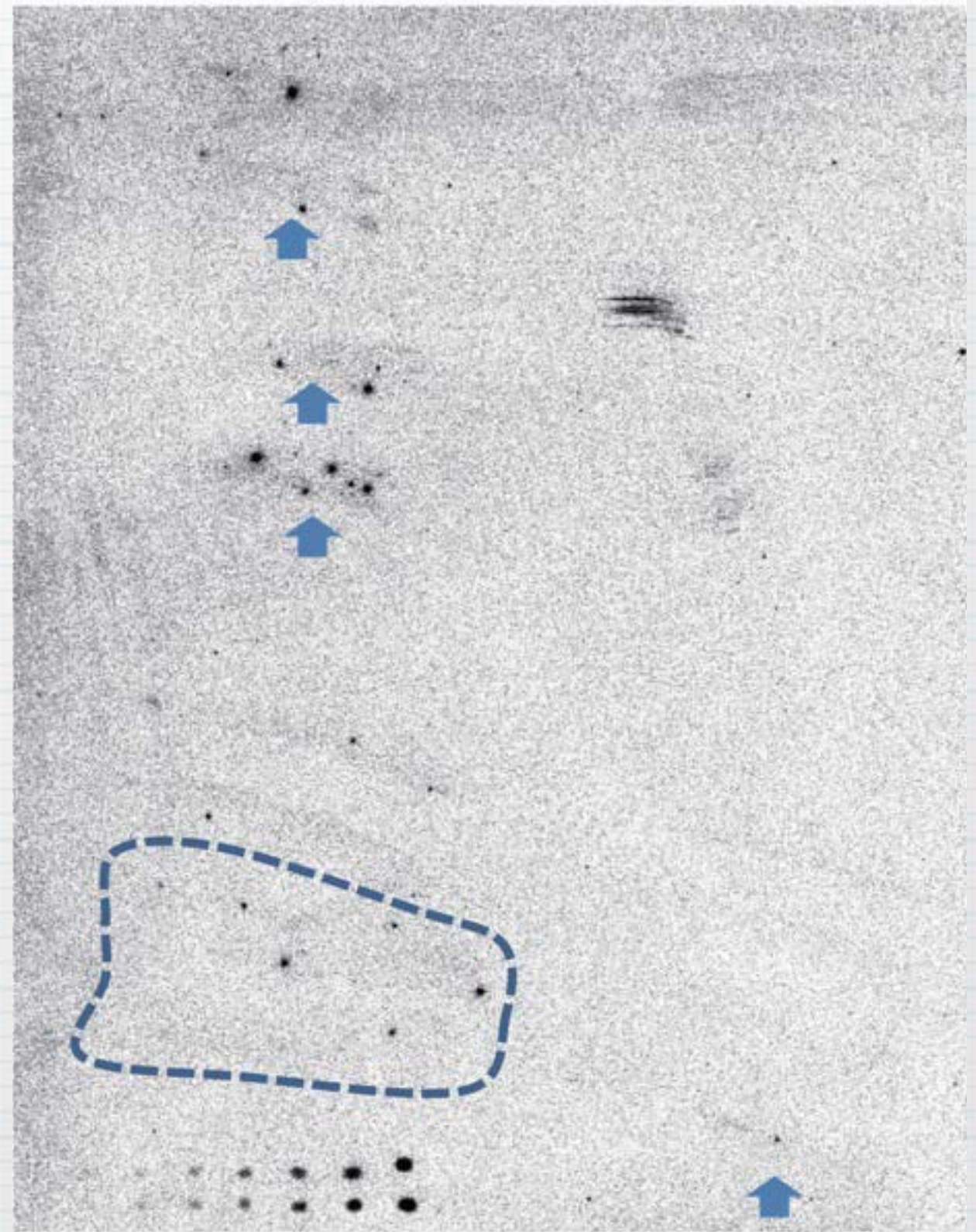
田野井慶太郎氏検査結果（東京大学RI施設）

IP test & nuclide analysis by Prof. K. Tanoi (BRC, U. Tokyo)

5-day exposure

少し長く

2012年の羽根



小林奈通子氏検査結果 (東京大学RI施設)

7-day exposure

もう少し長く

2013年の羽根

小林奈通子氏検査結果（東京大学RI施設）

2011年の羽根(2AB88970)

2012年の羽根(2AC98309)

↓ 2013年の羽根

(2AC98367a)/ 2013

(2AC98368c)/ 2013

(2AC98352a)/ 2013

no image for other
feathers in 2013

部分的には2013年は2012年と同様

ウグイスの羽毛の放射能汚染 **BW feather contamination**

2011年8月→2012年8月変化

contamination -> lower, more spotted

～53万 Bq/kg → ～12万Bq/kg

5分の1 程度に低下

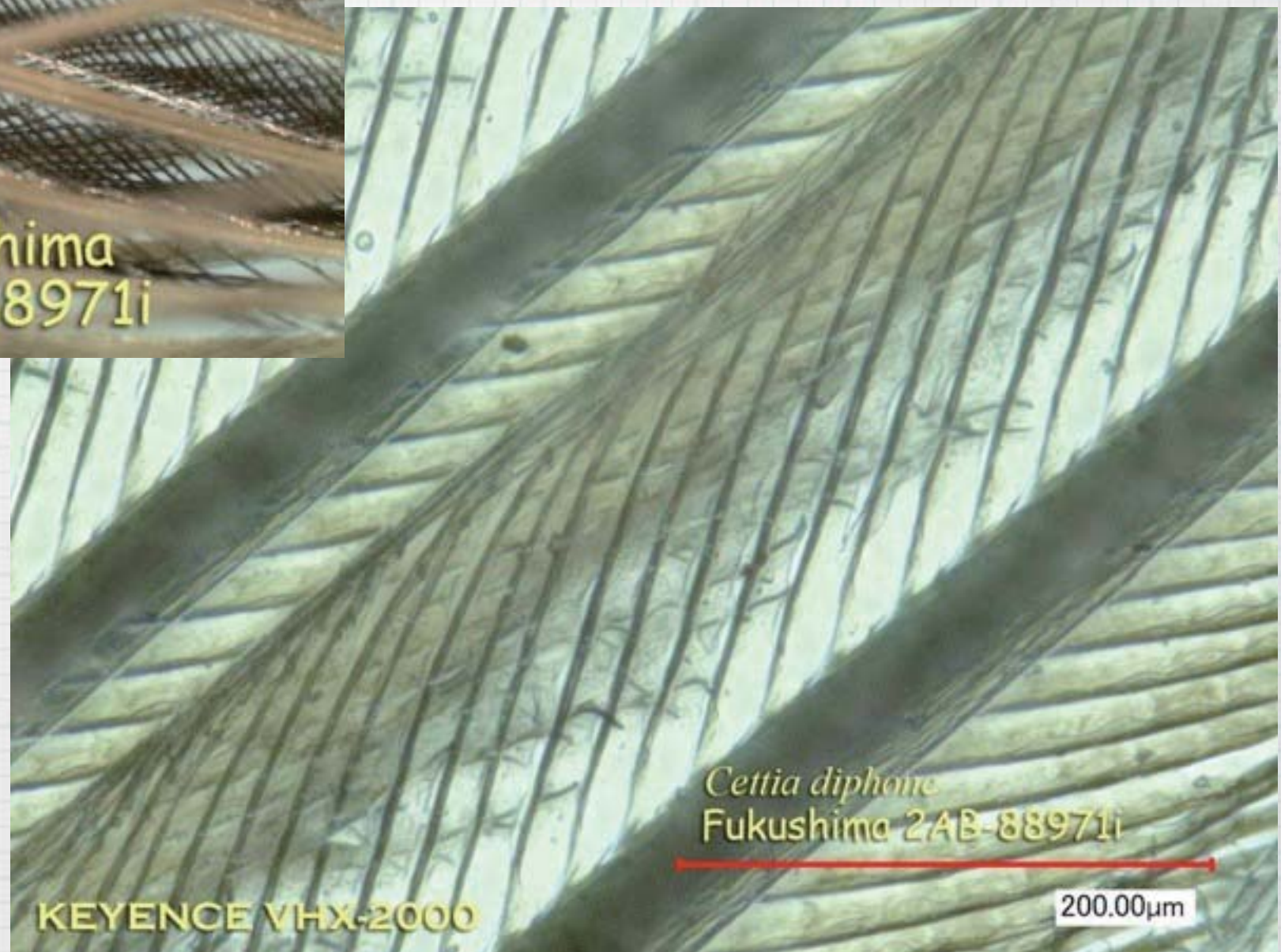
IP画像は薄ら、スポットわずかに有

→2013年8月 汚染羽毛は前年とほぼ同レベル

汚染個体の割合低下、局所的汚染

汚染した葉は地面に堆積、被覆され始めている

Microscope pictures of the contaminated feather



羽毛の顕微鏡写真、全体にうっすら汚れているように見える

ウグイスの羽毛の放射能汚染

**汚染羽毛をアルコール綿で強くこすったり
超音波洗浄機で洗浄してもほとんど変化無**

**灰をまぶしてこすったら、羽毛が破損
not-washable, stable attaching**

**非汚染羽毛に現地の汚染土壌（腐植層）
をよくこすりつけてからアルコール綿で
こすったら、汚染は残らない**

換羽時、羽囊は短期間に発生、以後死細胞

**∴ 内部からの汚染はあってもわずか？
強く固着する、汚染の仕組みは未解明**

羽囊は真皮から発生、機構・遺伝子発現未解明

2014年の羽根・・・測定しなかった

**今後、飼育個体を用いた、羽毛汚染実験
行動記録（羽づくろいの頻度など）
を準備（計画中&難儀中^^;）**

ウグイスの血液を採取して検査 血液原虫・ストレスホルモン 他

4 個体中、膿瘍状の症状の診られた₁個体から
血液原虫

ロイコチトゾーン属原虫mtDNA *cytb*部分領域 (498 bp)

をターゲットとした本検査より、
“ウグイス (2AB88970)” の血液細胞内にロイコチ
トゾーン属原虫が寄生している可能性が示唆された。

鳥マラリア原虫のmtDNA *cytb*部分領域 (478 bp)
をターゲットとした本検査より、“ウグイス4検
体” の血液細胞内に、鳥マラリア原虫が寄生して
いる可能性は示唆されず。

ウグイスの血液原虫感染率

	健全	感染
赤字木'11	3	1
赤字木'12	—	—
N.S. 秩 父	48	6

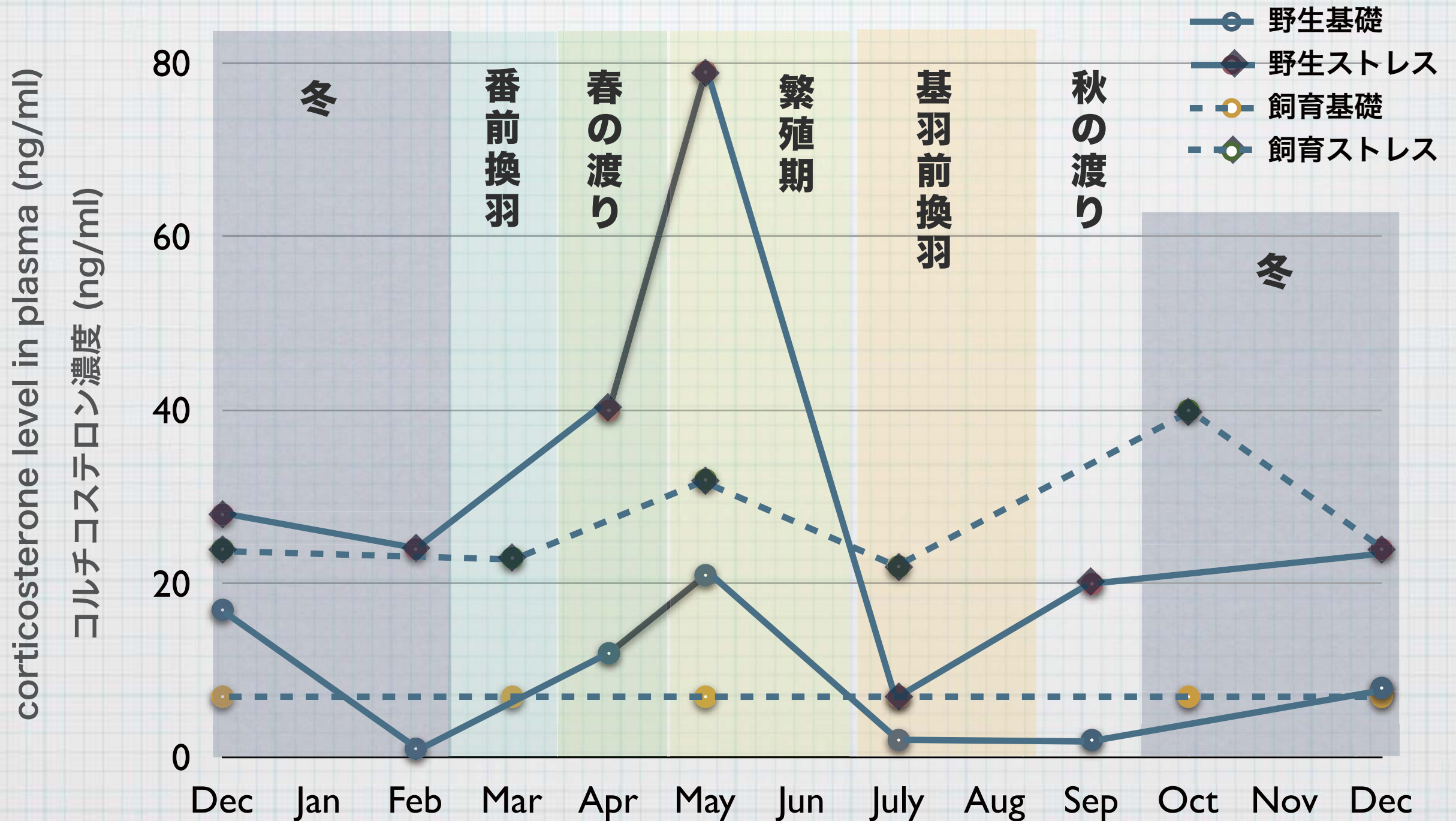
N.S. Exact test --- Mann-Whitney U test

$Z = 0.815638$, $P = 0.410988$ ($= S_w / S$; $S_w = 1.23574e+08$, $S = 3.00674e+08$)

<http://aoki2.si.gunma-u.ac.jp/exact/utest/utest.cgi> 使用

ストレスレベルの検証

渡りをするミヤマシトドの血漿中コルチコステロン濃度年周変化



Romero, Ramenofsky & Wingfield (1997) を改変, JCWingfield博士の好意による

**今後、飼育個体を用いた、羽毛汚染実験
と同時に、福島ウグイス個体でも
同様に、ストレスホルモンの測定をする**

ウグイスの血漿中コルチコステロン濃度、ストレスに対する変化 in bush warbler at Hokkaido and Chichibu

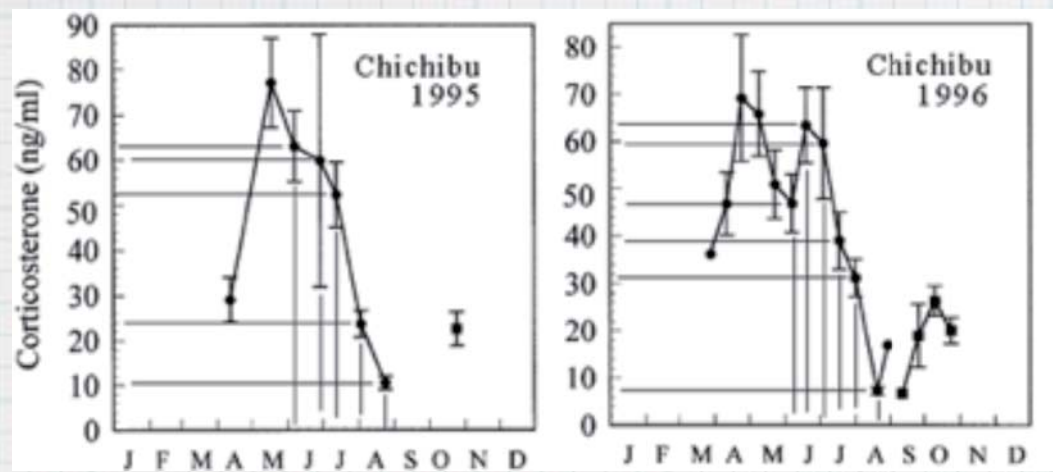


網で捕獲し、捕獲直後と、布袋に入れてストレスをかけた状態で5~60分置いた後との2回採血して、血中（血漿中）のコルチコステロン濃度を測定し、比較

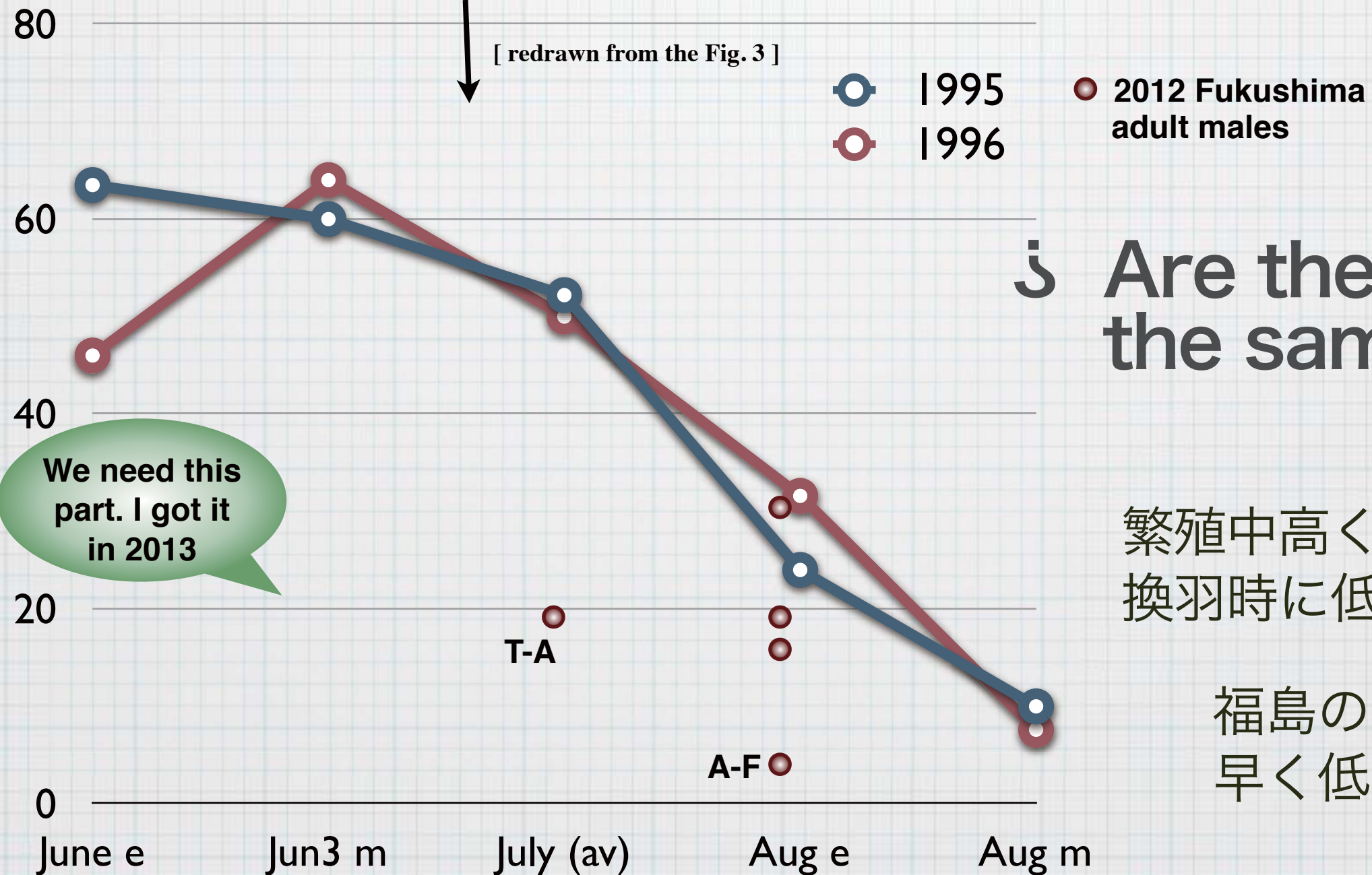
北海道の方が、短期集中型

♂成鳥のストレス
レベルと応答

Wingfeild et al. (1995) を改変



Masaru Wada, Takashi Shimizu, Sayaka Kobayashi, Atsushi Yatani, Yuko Sandaiji, Takayuki Ishikawa, and Etsuko Takemure.
Behavioral and Hormonal Basis of Polygynous Breeding in Male Bush Warblers (*Cettia diphone*).
 General and Comparative Endocrinology 116, 422–432 (1999)



Are they the same ?

繁殖中高く
換羽時に低下

福島のほうが
早く低下？

ウグイスの血漿中コルチコステロン濃度 (秩父)

早朝の5分間の定点カウントで記録した鳥類種数

	高線量地区 (30万Bq/m ² <)	中線量地区 (10-30万Bq/m ²)	低線量地区 (10万Bq/m ² >)
2012年(38回)			
地点数	16 ^a	8 ^b	14 ^c
平均記録種数	6.75	8.13	7.86
標準偏差	±1.81	±1.55	±1.71
種数範囲	4～11	5～9	3～12
2013年(35回)			
地点数	3	4	28
平均記録種数	— *	— *	8.07 ^d
標準偏差	— *	— *	±2.51
種数範囲	4～8	3～11	4～13

*, 2013年4月から早朝立ち入り制限で、充分調査できなくなった → 録音データ中心に

a vs. b, $p \sim 0.05$ (N.S.); b vs. c, $p > 0.05$ (N.S.); a vs. c, $p > 0.05$ (N.S.)

c vs. d, $p > 0.05$ (N.S.)

2012年は中線量地区で種数が多め、低線量地区では2012年は2013年より種数が少なめ

早朝の5分間の定点カウントで記録した鳥類種数

	高線量地区 (30万Bq/m ² <)	中線量地区 (10-30万Bq/m ²)	低線量地区 (10万Bq/m ² >)
2013年(35回)			
地点数	3	4	28
平均記録種数	— *	— *	8.07 ^d
標準偏差	— *	— *	±2.51
種数範囲	4～8	3～11	4～13
2014年(33回)			
地点数	2	1	30
平均記録種数	— *	— *	6.80 ^e
標準偏差	— *	— *	±2.28
種数範囲	7と11	4	4～12

*, 2013年4月から早朝立ち入り制限で、充分調査できなくなった → 録音データ中心に

*, 2015年4月から早朝立ち入り制限が1時間延長されたので、来月は多少調査できる

低線量地区での比較で、2013年は2012年より種数が少なめだった、天候等の影響も受ける

自動録音機

1~2ヶ月間



OLYMPUS
DS-750

Audiotecnica
AT - 9904

automatic sound recorder

Acoustic Data for Animal Monitoring

ADAM

早朝
2~3月 (寒)



**鳥以外
の動物
も記録**

a long term recording equipment

**1~2ヶ月間
早朝**

**4~9月
夜中・
昼間も**



**鳥以外
の動物
も記録**

a long term recording equipment

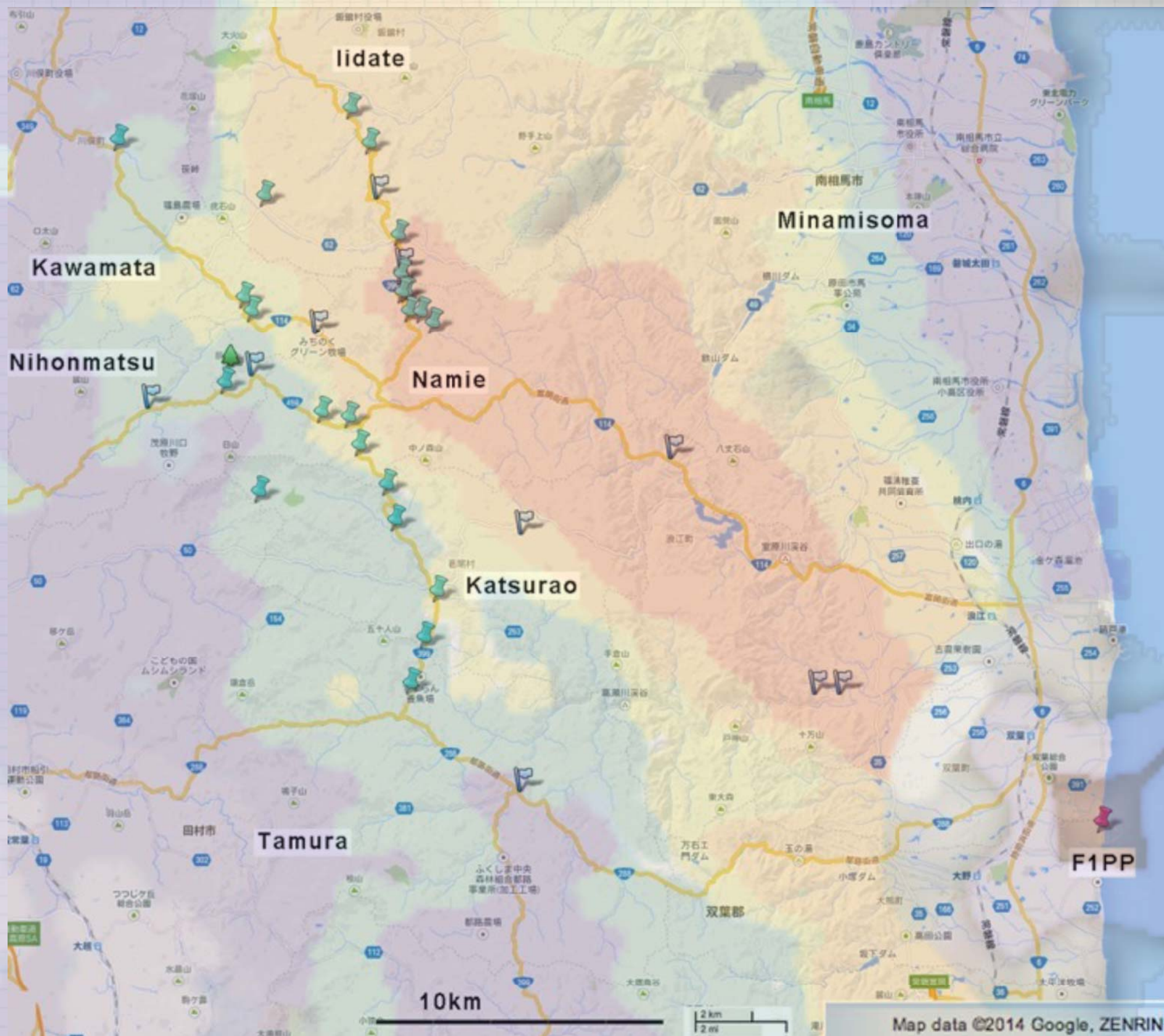
早朝



録音

数日間

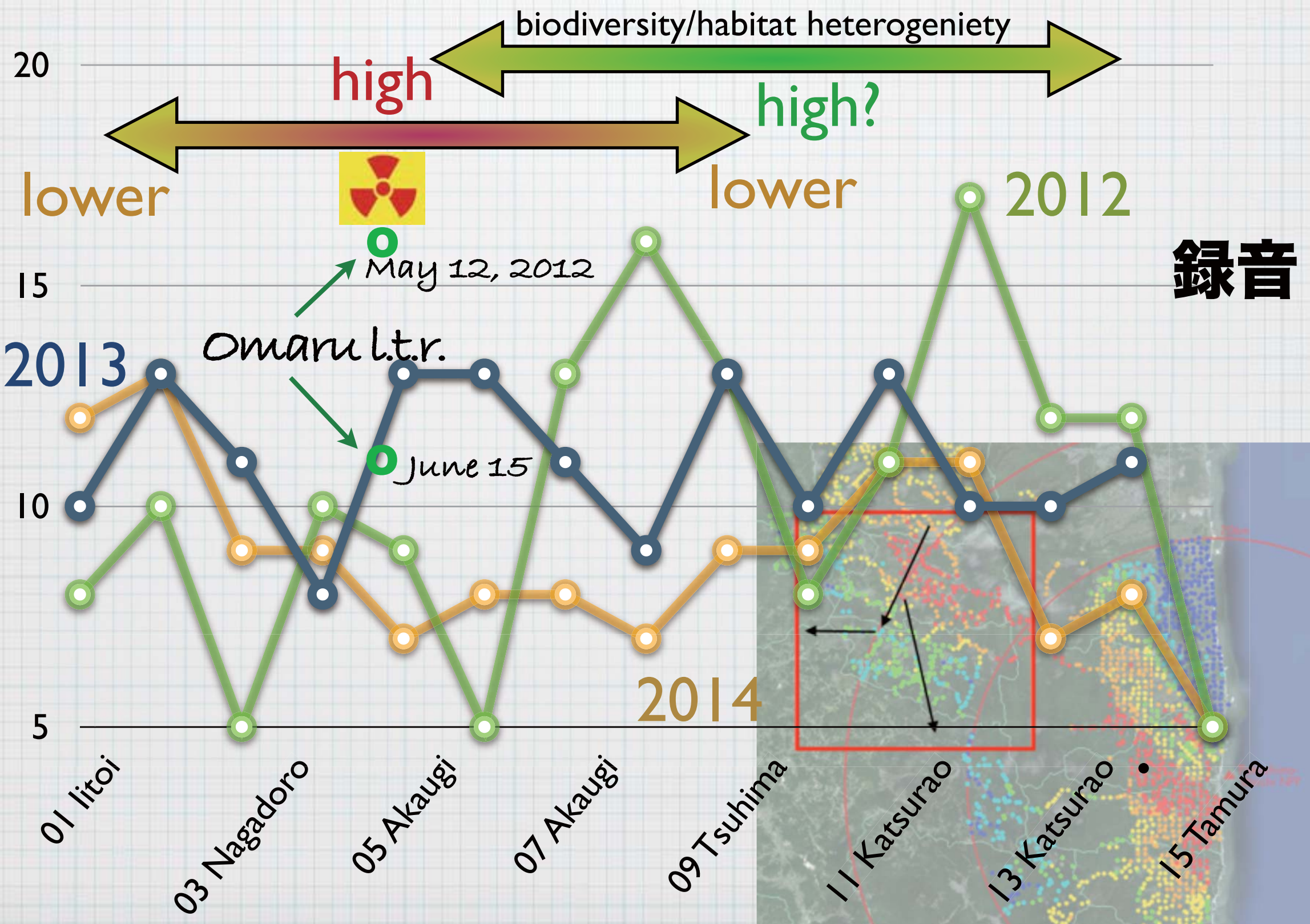
a short term recording equipment



録音地点

From Iitate through Namie, Katsurao, to Tamura,
14 recording points in about 20 km from North to South,
from the highest contaminated area to the normal,
mid June, 2012~2014 4:05 ~ 4:25 a.m. (s.t.r.)

鳴いている鳥の種数
Species number



明らかな線量との対応関係
傾向はない

鳥以外の頻繁に音を出す動物

Other animals make sounds

セミ・・・2016~2017年頃に注目？

cicada ← long life in the soil

コオロギ、ウマオイ、キリギリス等

crickets

カエル類・・・脊椎動物の中では短寿命

flogs

いれば、オヒキコウモリの低温域は録音可

some bats have low voice

録音は、後から手分けして再検証可能

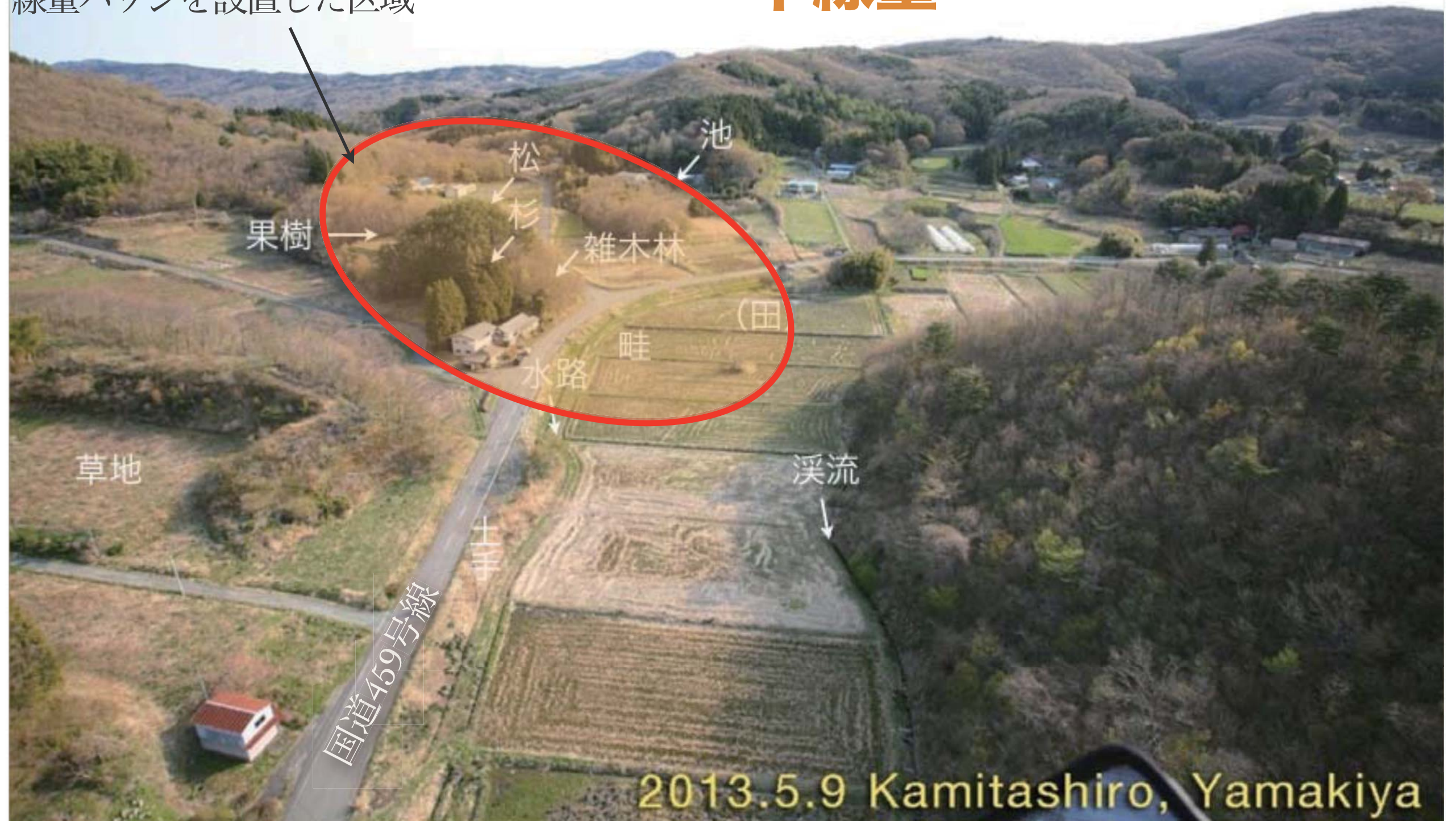
Those have been recorded together.

微環境の線量の違いを検証

川俣町山木屋上田代

中線量

線量バッジを設置した区域



方法

1cm線量当量を使用

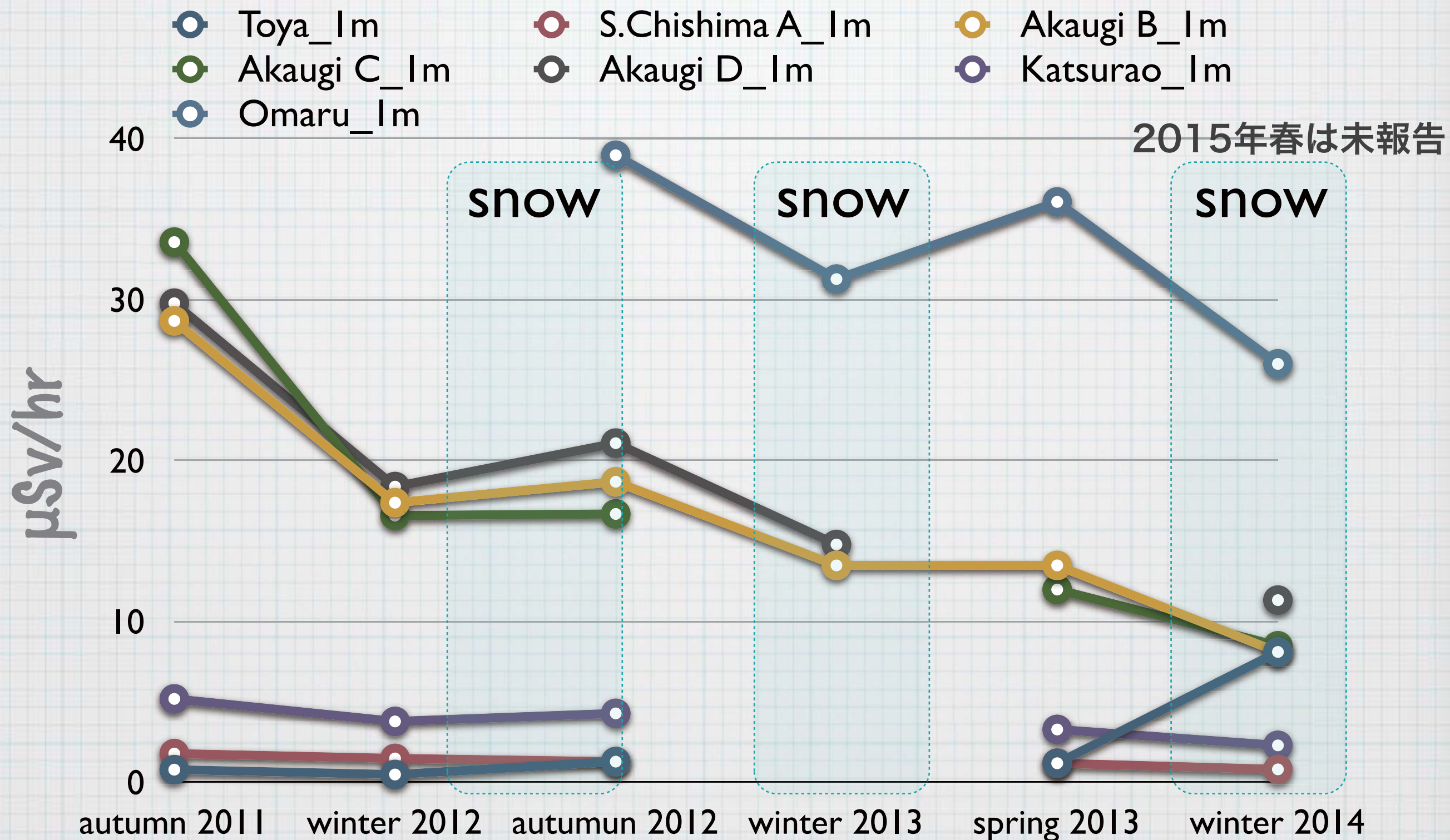


環境測定用ガラスバッジ線量計
(ES型、千代田テクノル社)
X線、 γ 線、 β 線(70 μ mのみ)

赤字木手七郎	90個
山木屋上田代	100個
山木屋下田代	9個
小丸大平	11個

体外（皮膚）からの γ 線入力と吸収線量の関係

線量バッジ10個で計測した経過



じょじょに低下、積雪で空間線量率低下

微環境線量測定、設置風景

microhabitat
variation
in radiation

winter 2012/2013



2012.12.13 Teshichiro, Namie

radiation budge

210個の線量バッジを2ヶ月設置

設置：2012年12月9日～13日

回収：2013年 2月2日～ 4日

準備区域

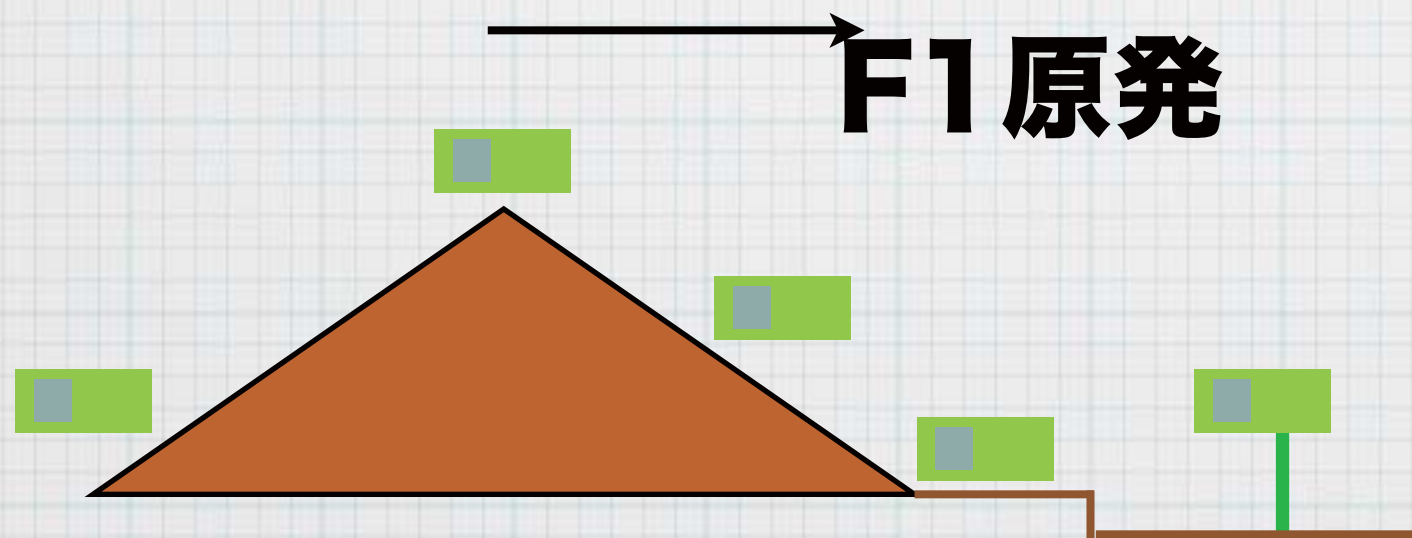
山木屋
上田代 30km

山木屋
下田代 30km

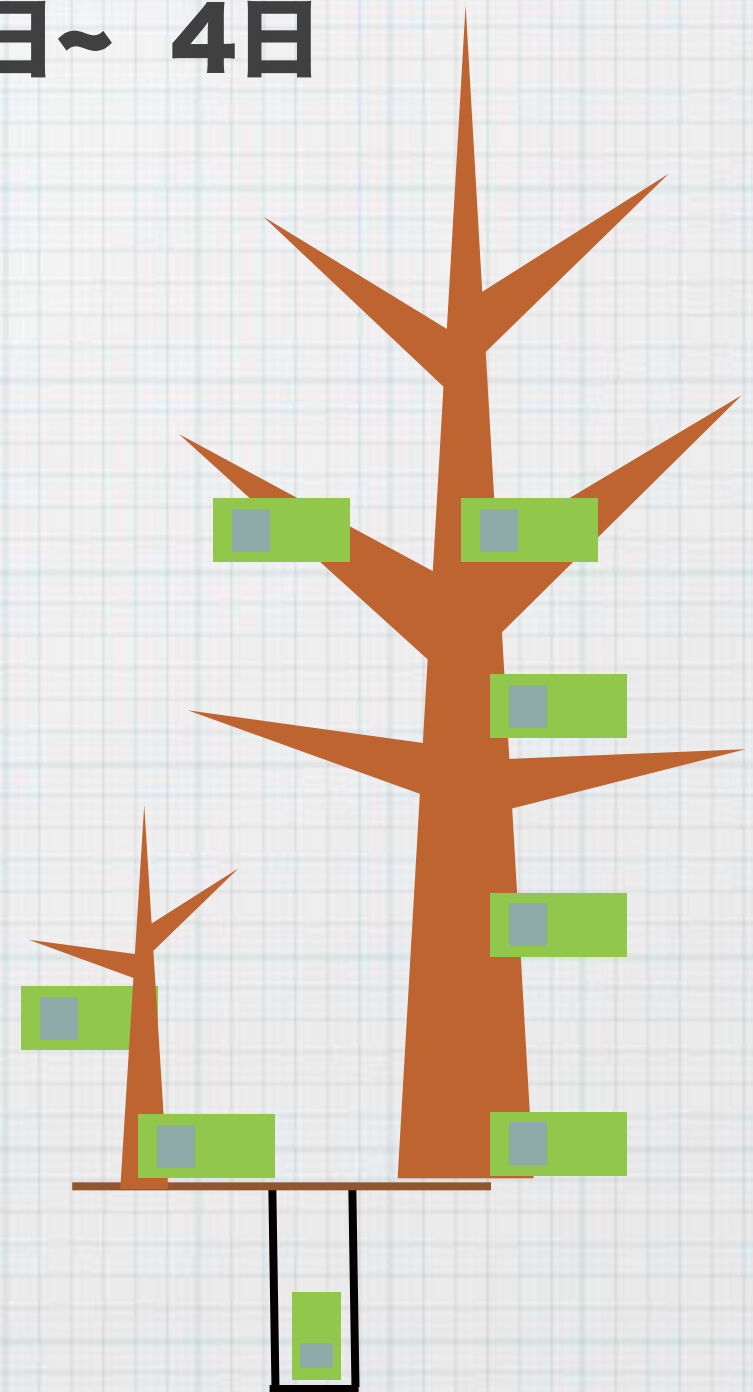
帰還困難区域

赤字木
手七郎 30km

小丸 10km



尾根上、斜面 表・陰



林内、農地 微環境

結果

高 γ 線

手七郎：10.6~30.1 $\mu\text{Sv}/\text{時}$ 85個

(5個ノウサギに取られた)

内3個は、消雪後に近くで発見 → 測定エラー

上田代：0.4~ 4.4 $\mu\text{Sv}/\text{時}$ 100個

中

中

下田代：0.2~ 0.6 $\text{mSv}/\text{時}$ 8個

(1個カラス?に取られた)

小 丸：17.2~39.2 $\text{mSv}/\text{時}$ 11個

高

1cm線量当量を使用

$\mu\text{Sv/hr}$

上田代

(下田代)

6

4

2

0

10倍

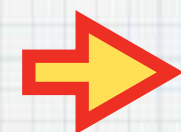
地中

地際

胸高

頭上

上空



5倍強

$\mu\text{Sv/hr}$

30

20

10

0

地中

地際

胸高

頭上

上空

(小丸):放射性物質降下継続?

39.6

手七郎

8

北東



山木屋上田代

0.6 μ Sv/hr.

air
orchard →

0.4 μ Sv/hr.

grass land

pine

pond

cypress plantation

secondary forest

(paddy)

facet

dyke

bank

stream

2.6 μ Sv/hr.

air/max

4.4 μ Sv/hr.

ground/max

0.6 μ Sv/hr.

国道459号線

今、住宅から20m、田は除染（地剥ぎ）中

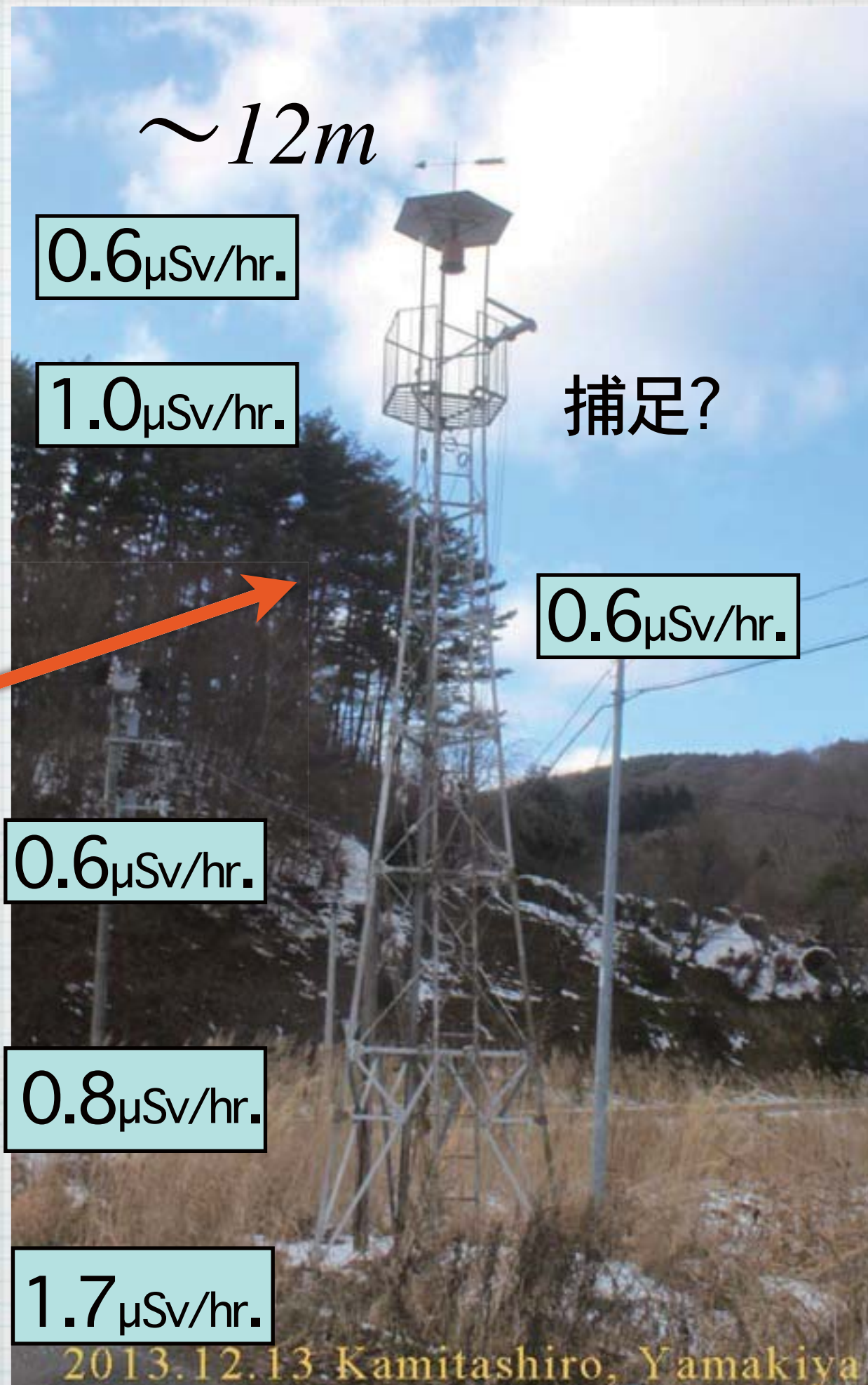
2013.5.9 Kamitashiro, Yamakiya

山木屋上田代

地上から離れると
線量低下



ただし、
スギは樹冠も高め
2.9~1.5 $\mu\text{Sv/hr.}$



赤字木手七郎 $\sim 11m$

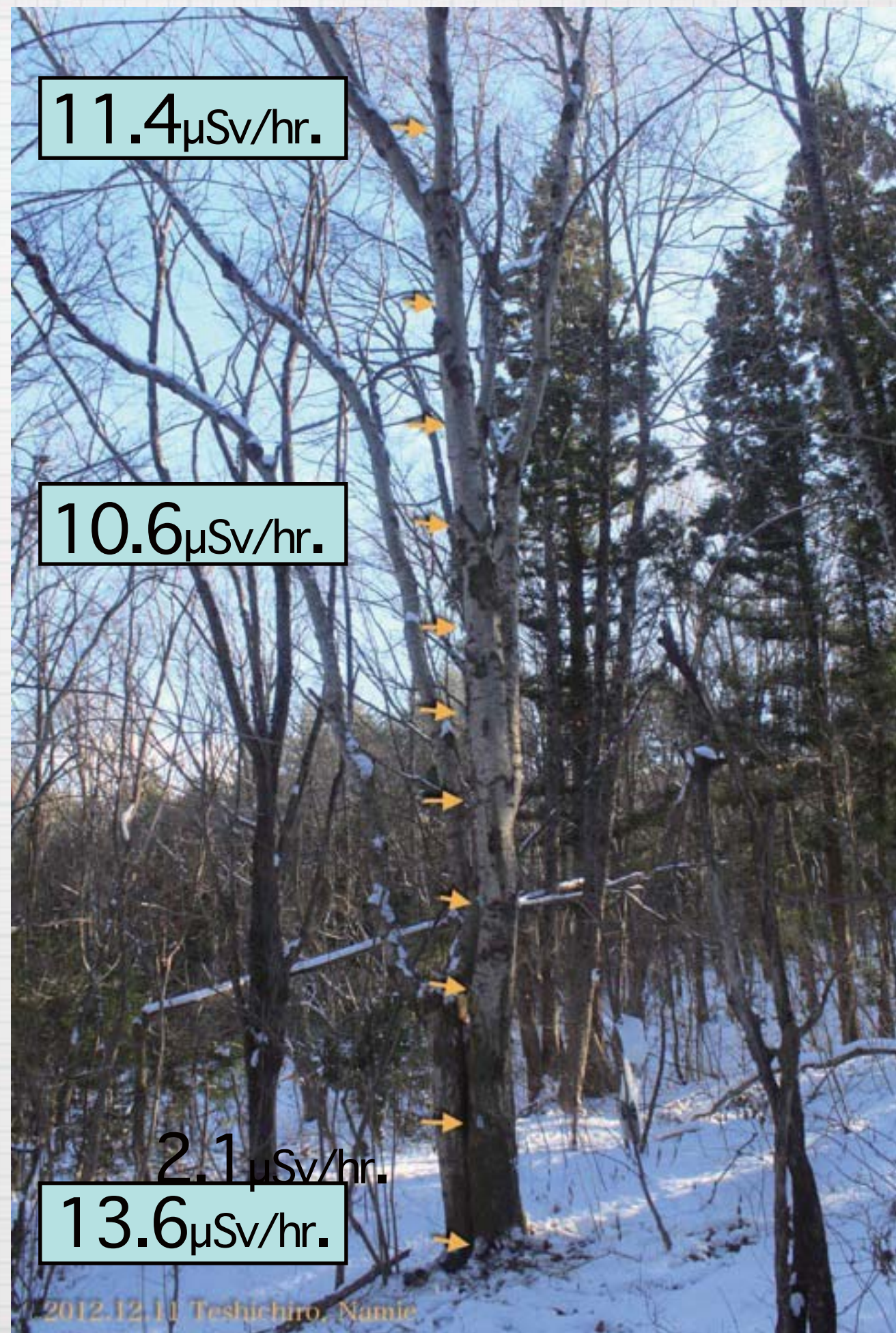
trunk (bark)

広葉樹の幹 (樹皮)

スギの幹 (樹皮)

$11.9\mu\text{Sv/hr.}$ @ $\sim 11m$

$16.9\mu\text{Sv/hr.}$ @ $\sim 0m$



事故原発側の斜面は高い

凸部で高い



- ・ 微環境による線量の変異は大きい
(10倍程度の差も観測された)
- ・ 動物がどこで活動し、暮らしている
かによって、被曝量も大差がある可能性
がある
- ・ 個体ごとの被曝量を知る必要がある
- ・ 地面近くと遠くを活動中心にする種
では、地面近くの者の被曝量が高いと
言える・・・地区比較、生態比較で予
測どおりになるか、今後の分析課題

今日の要点：

- 自己紹介
- 生態学の 概念 と 放射能汚染の生態影響
- チェルノブイリ原発事故後の野生生物
- 福島第一原発事故後の野生生物事例
- 福島第一原発事故、「高線量地帯」での
石田の研究事例
 - ウグイスの羽毛汚染
 - 鳥類群集の定点カウント・録音
 - これからの課題、ウグイス等の活動評価
- どうなる、原発、放射能と環境

現時点の概略の結論

野生生物を調べてわかること

- 放射線の作用は単独で効くわけではない

★ 環境中での振る舞いを知ることができる

- 福島では、事故後比較的早くから現地調査が始まった
長期、より広範囲で、より多様な研究が望まれる

日本、福島に適した調査対象生物

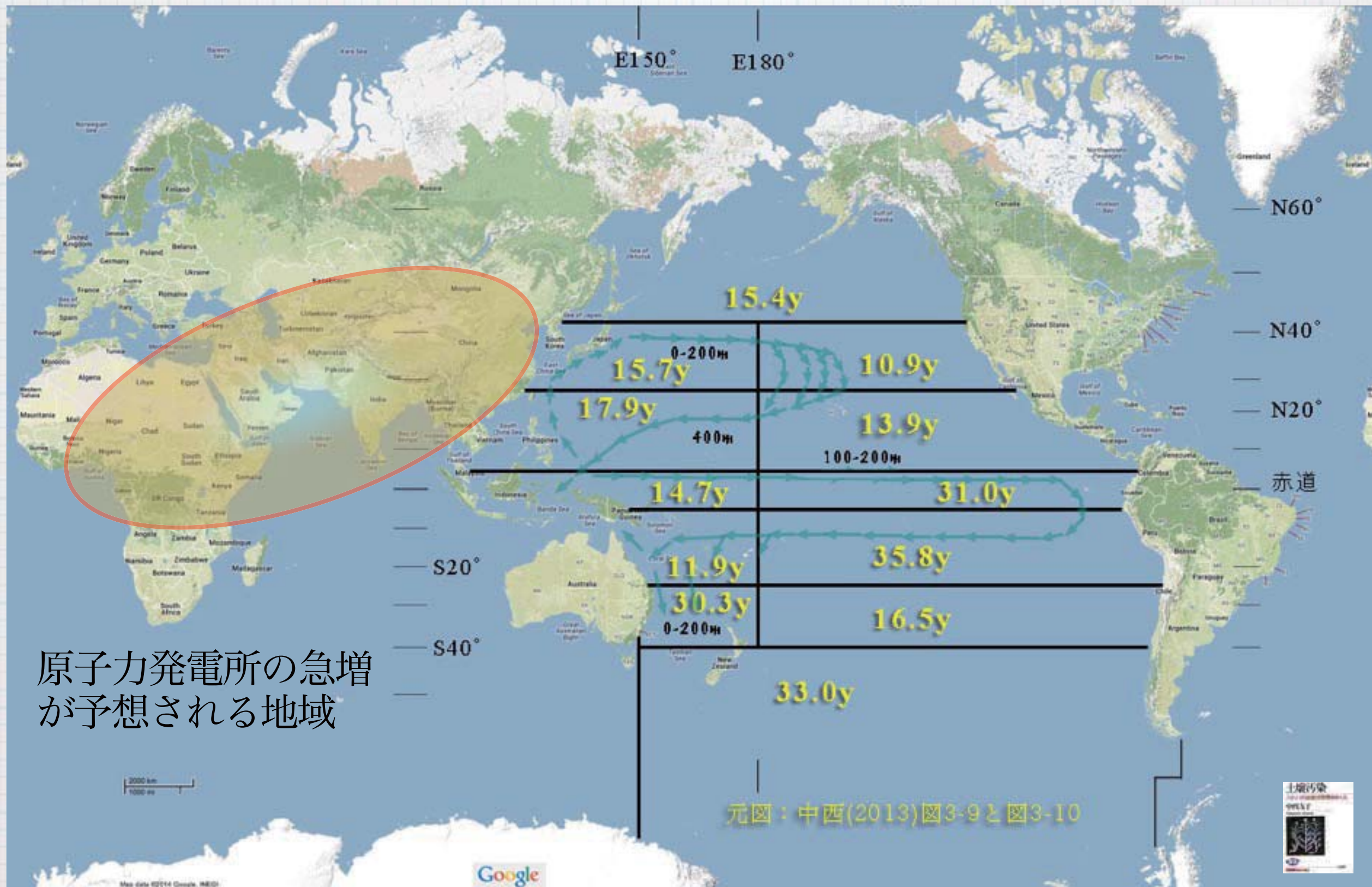
- 研究者による情報公開が進んでいる

2015年1月17日に小田急ロマンスカー 展望席1A席に座れた

期待値の小さい事象も起こる



発車**10**分ほど前に券売機で購入



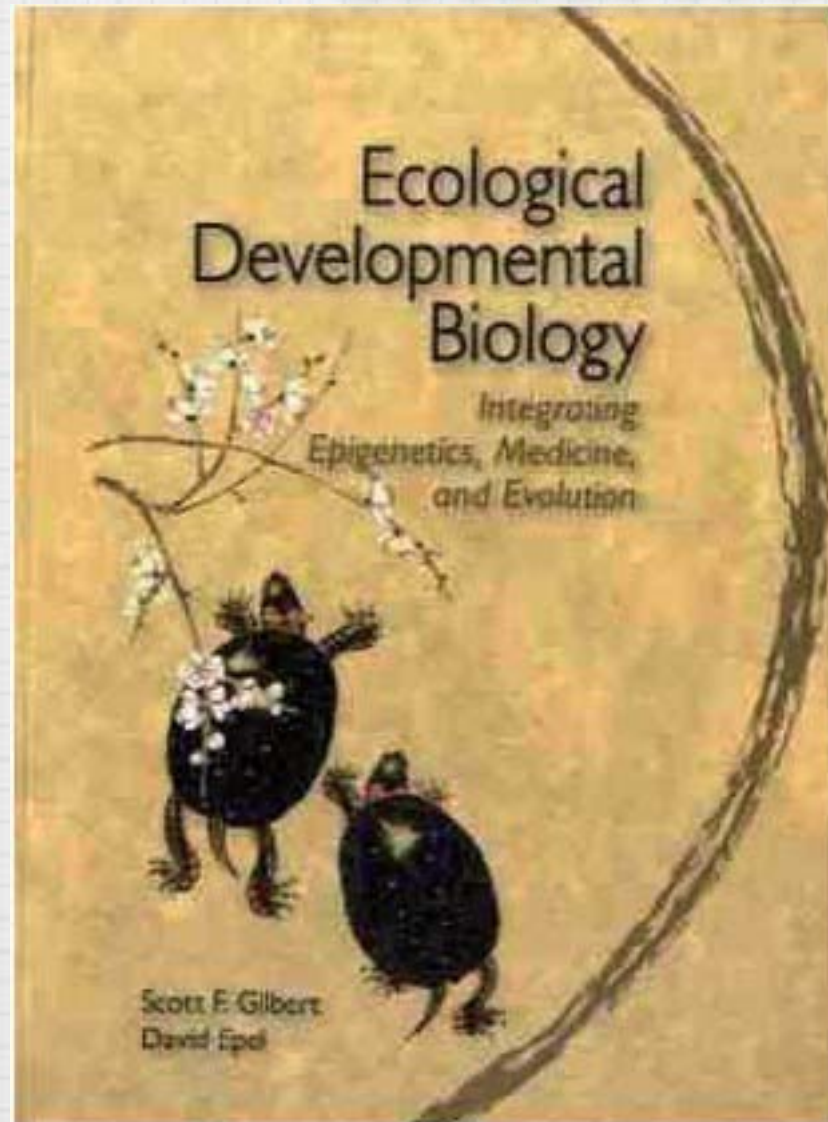
原子力発電所の急増
が予想される地域

廣瀬勝己氏（上智大学）の資料にもとづく、太平洋表層の放射能の滞留半減期。中西(2013)から再描画した。

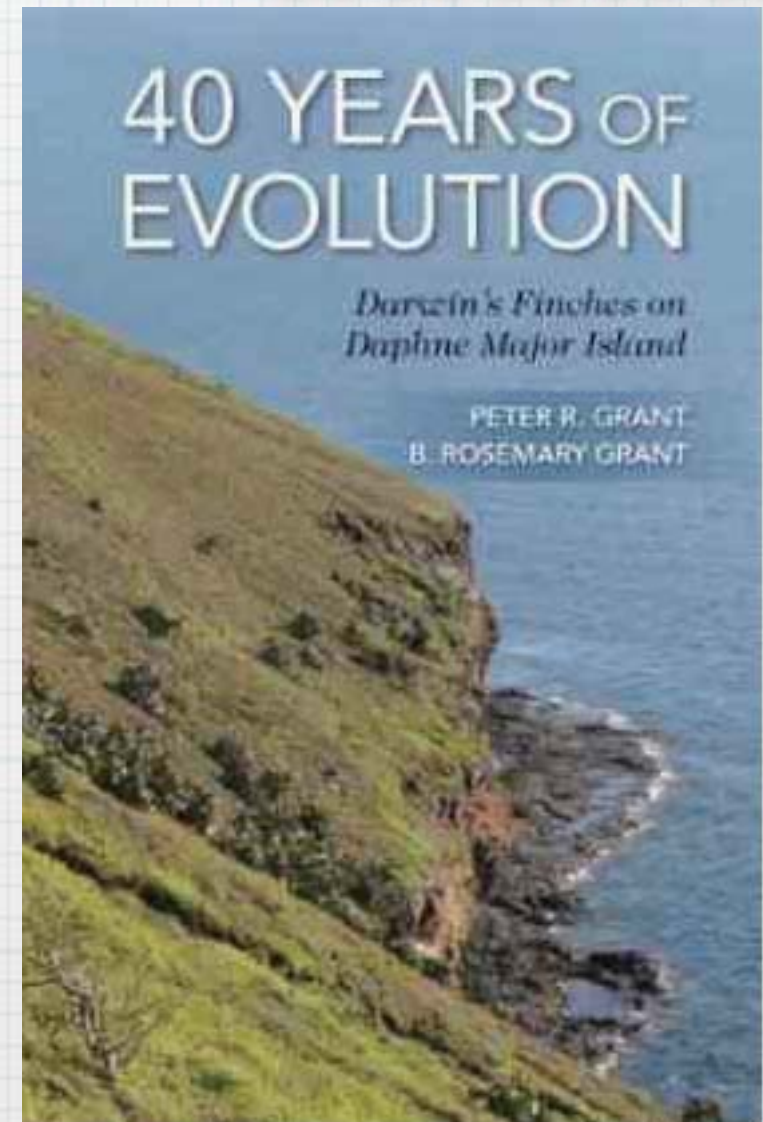


地球の回転方向

もし・・・今日の話しに興味を持てたら



2009年



2014年

と

一読を、おすすめします。