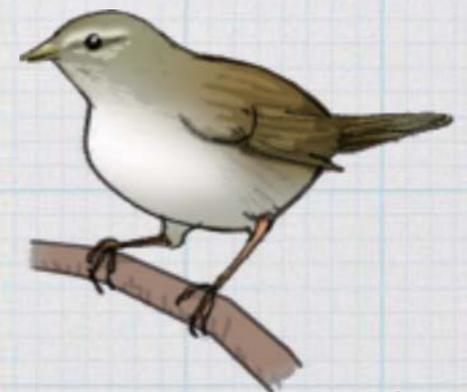


野生動物のモニタリング

石田 健

生圏システム学専攻
フィールド研究支援



Illustrated by R.Sugita

今日の課題

生態学における「攪乱」と「安定」
の概念を使って、原発事故で高い
放射線被曝を受けた野鳥の個体群
が、どうなると予測するか書きなさい。

ヒント: ペットボトルの水、水と空気の
どちらも実在、確率的作用と階層性

今日の要点 (目次) :

- 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
- 福島第一原発事故後の野生生物事例 Fukushima-daiichi accident & wildlife
- 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 My approaches at highly contaminated area
Bush warbler body condition
Bush warbler feather contamination
- 放射線の確率的作用と生態影響 stochastic process and ecological effect

今日の要点（目次）：

- **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
- 放射線の確率的作用と生態影響



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

H₂O
C, N, P, Cu, K, Ca...
↓ 科学へ

1980~ **Krebs** 個体群動態

Cd, DDT...

1990~ **Begon** 種間相互作用

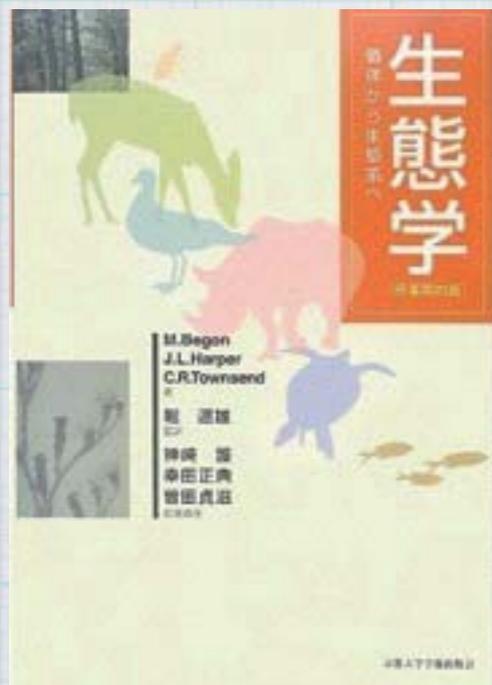
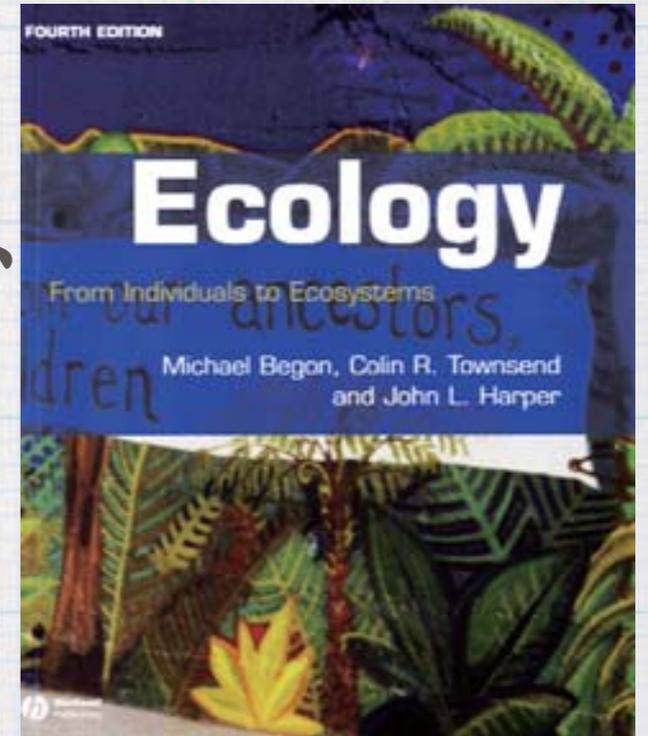
喰う喰われる以外の関係も

21世紀は、

Ecological Developmental Biology

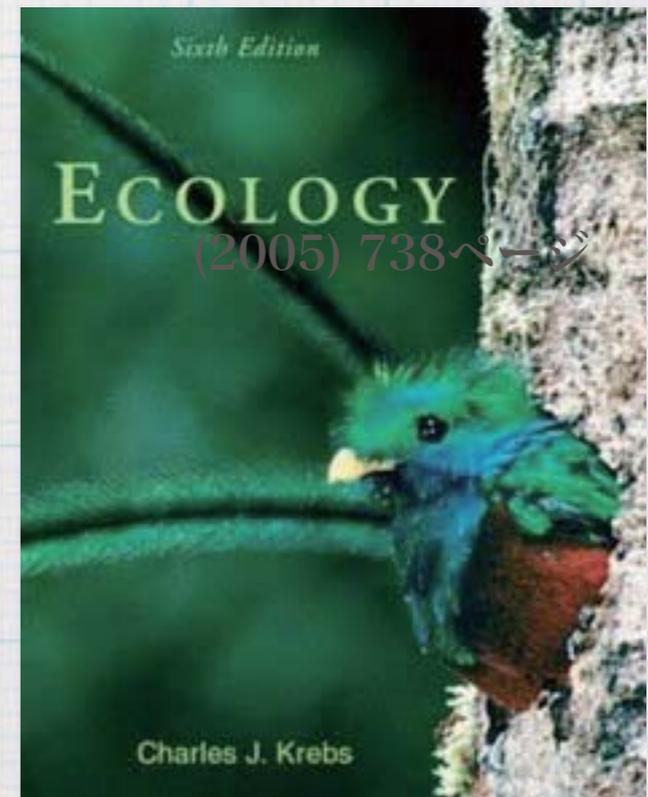
↑ DNA~個体、 いずれも環境の影響下で異なって振る舞う

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) ▶

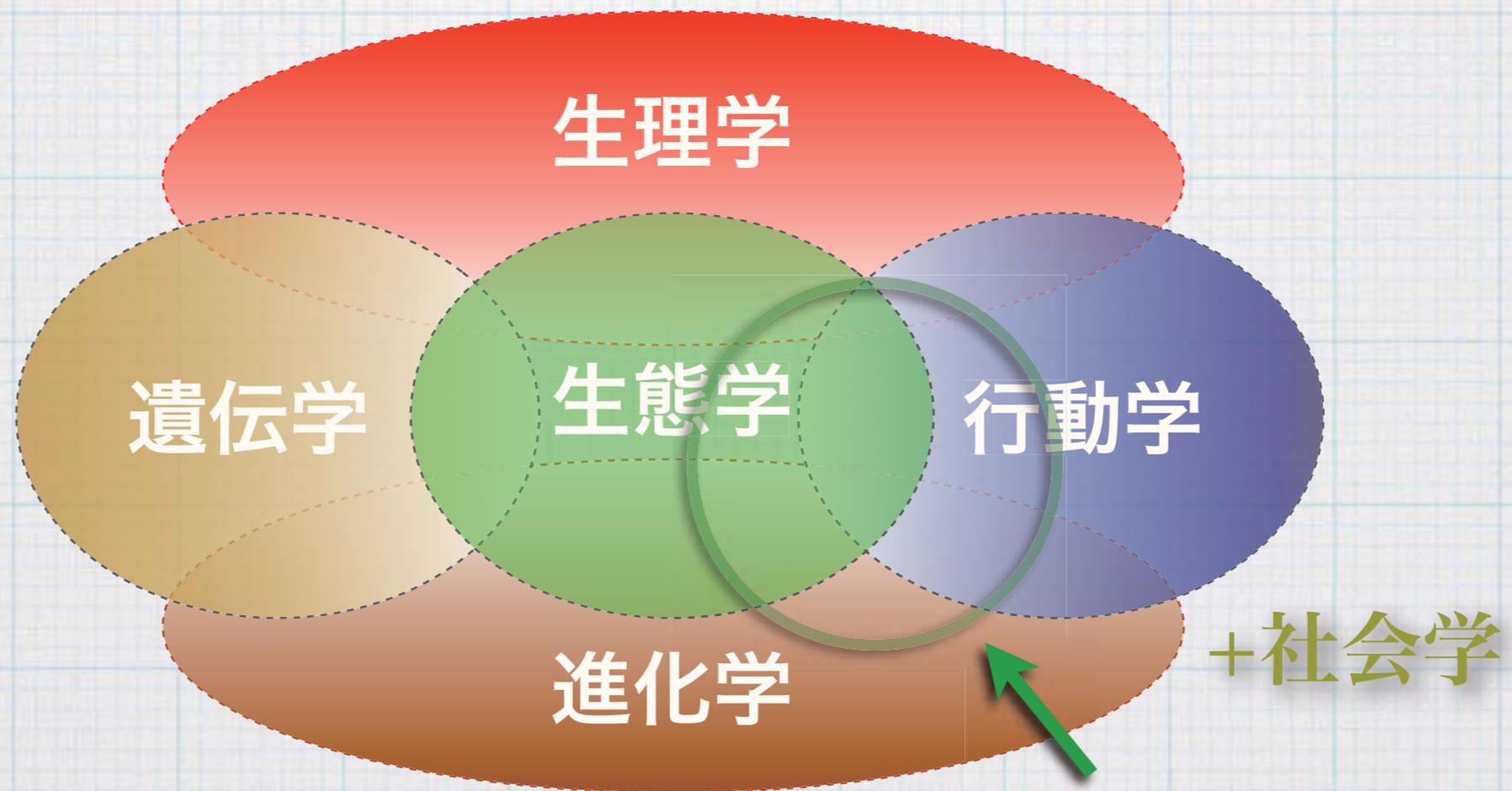


第4版翻訳 2013年3月刊行

“Ecology” Charles Krebs
Elton の定義を引用 ▶



生態学



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

スケールの考え方、階層性

生態学

個体から生態系まで

- △ 個体
- 個体群
- 群集
- 生態系
- 景観

狭義 広義

生物学

素粒子
原子
分子
DNA
細胞
器官
個体
個体群
群集
生態系
景観
地域
地球
宇宙

物理学



●
野生動物（生物）の 数や分布は変動する
どのような 関係（原因）で変動するのか

個体群（集団）全体としては

元の数 + 出生数 - 死亡数

一地域（集団の部分だけ）を観察すると

+ 移入 - 移出

で変化後（次の時）の数になる

$$dN/dt = r N = (b-d)N$$

時間当たりの個体数の変化ということ
つまり、数の変化「速度」

$$dN/dt = r N + i + e$$

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

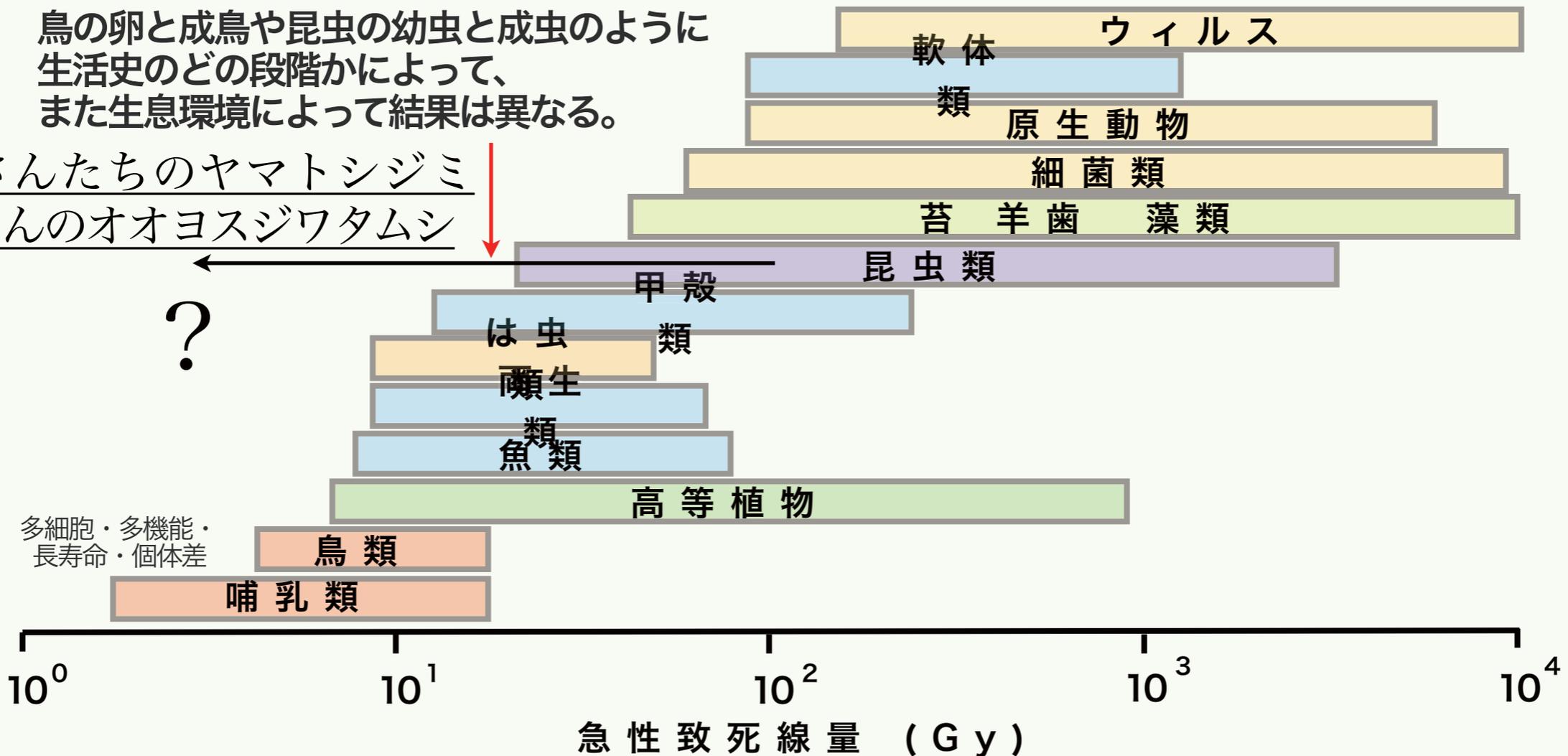
放射線の個体への作用にも生態的側面がある

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

DNA・RNAを壊す

細胞中の水を分解して活性酸素を生む

生態系・社会

確率的影響

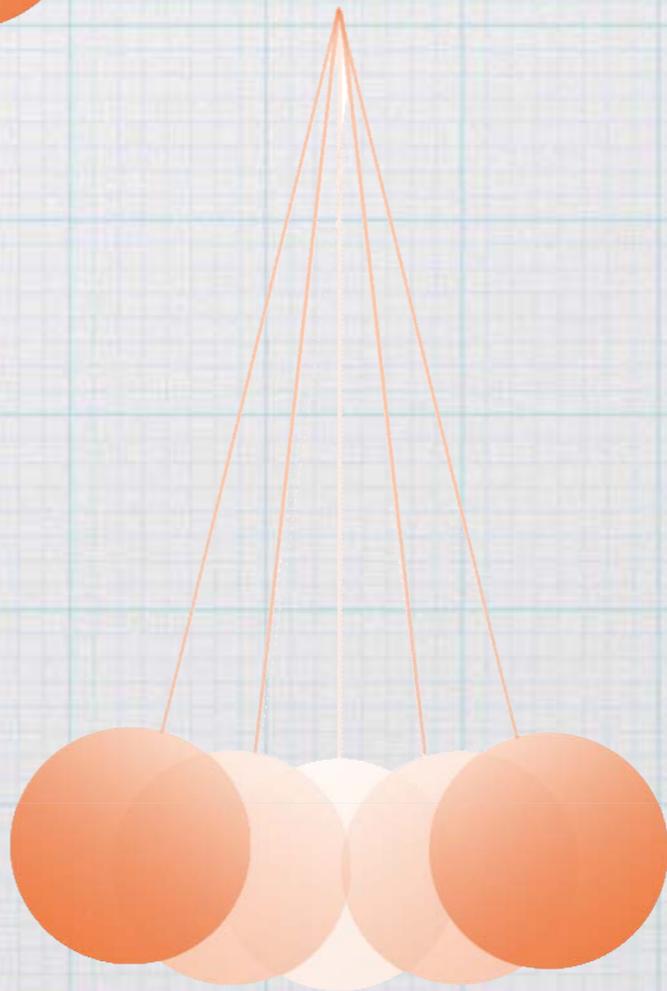
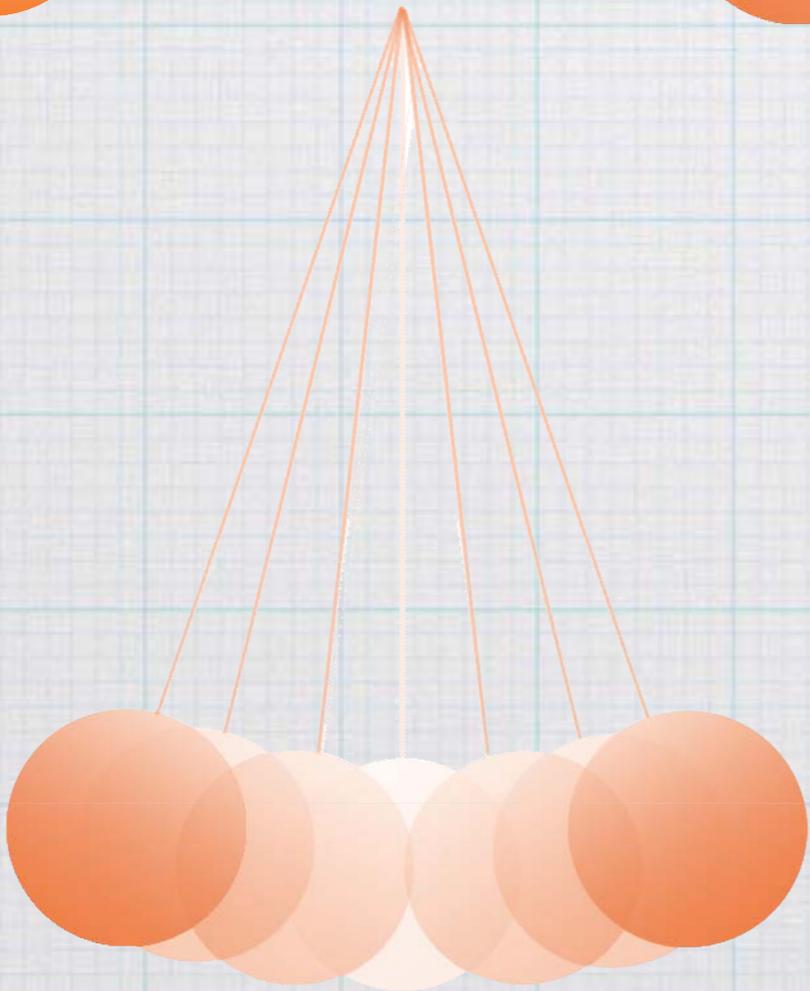
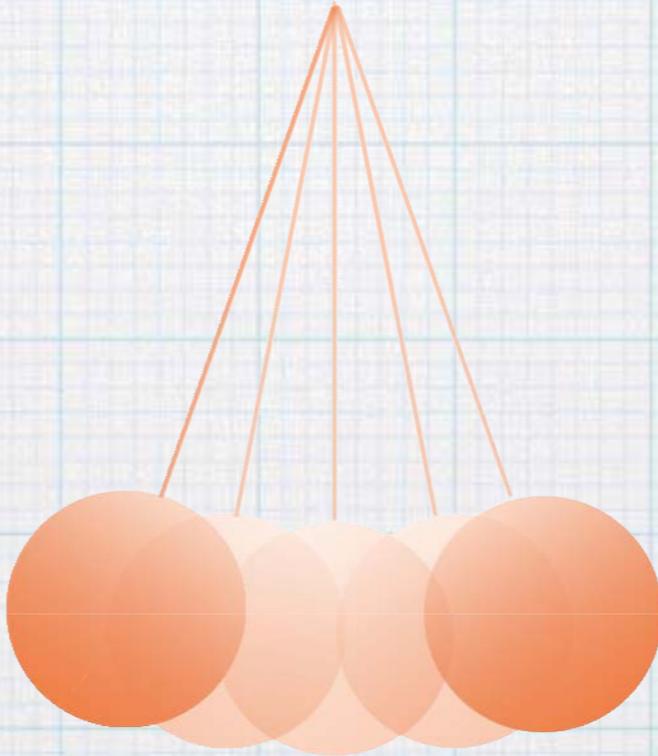
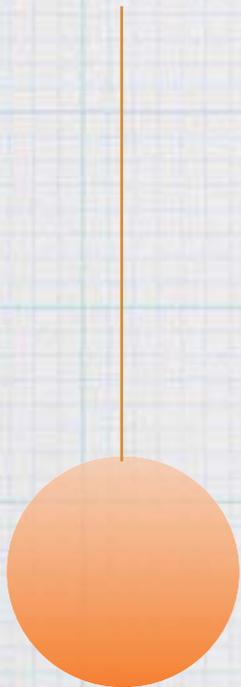
“放射線医学”

“生態学”

“農学”

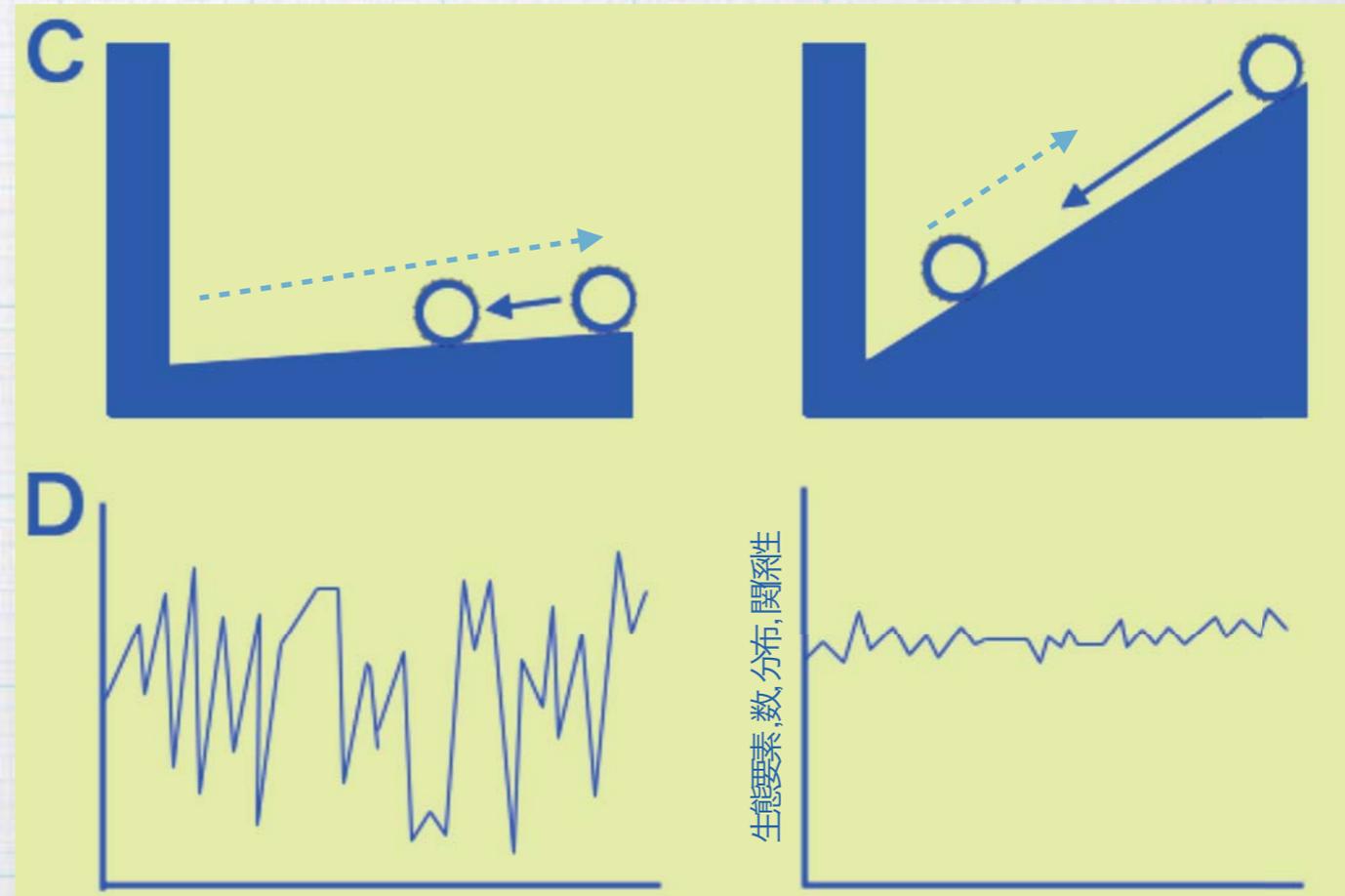
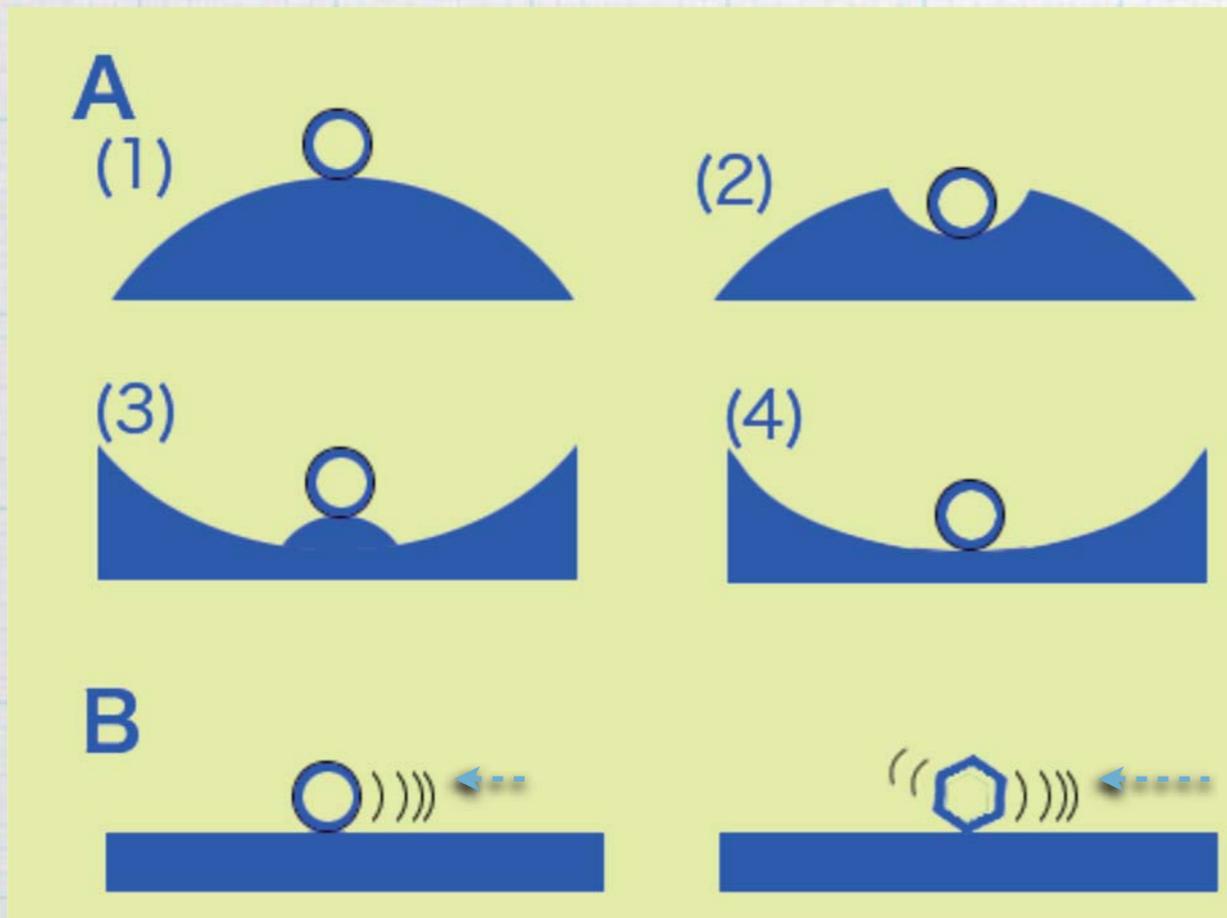
放射線の個体への作用には生態的側面がある
何を食べるか、どこで暮らしているか、、、

安定性



変化（変動）の大きさ と 速さ

4種類の安定性



時間

生態要素, 数, 分布, 関係性

A, 局所安定性と大局安定性;

C, 復元速度 (可塑性)

B, 抵抗性

; D, 変動性

攪乱

外からの作用によって**安定性**が壊れる

安定の回復に**可塑性**が重要な**小変化**

定期的に起こる攪乱の例

山火事

大風

竜巻

地震

洪水

山崩れ

攪乱

外からの作用によって**安定性**が壊れる

安定の回復には時間がかかる

まれに起こる大規模な攪乱の例

大噴火

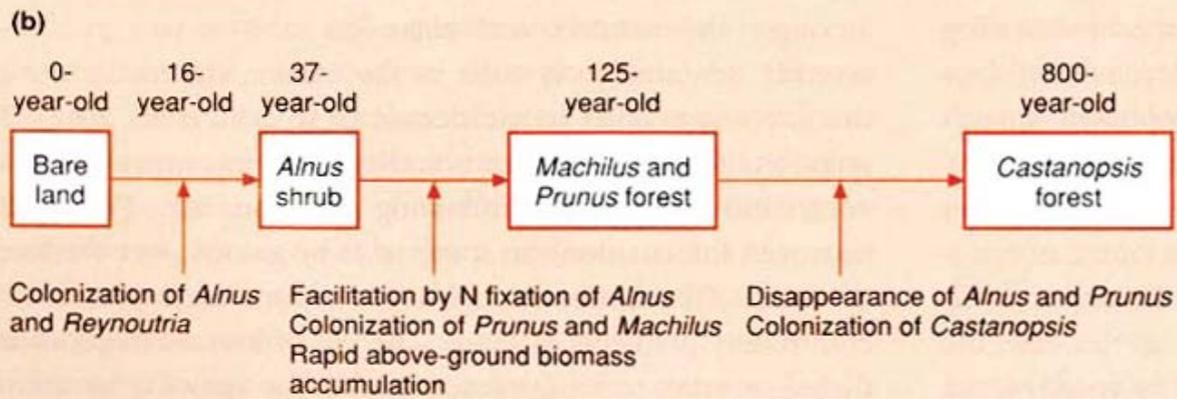
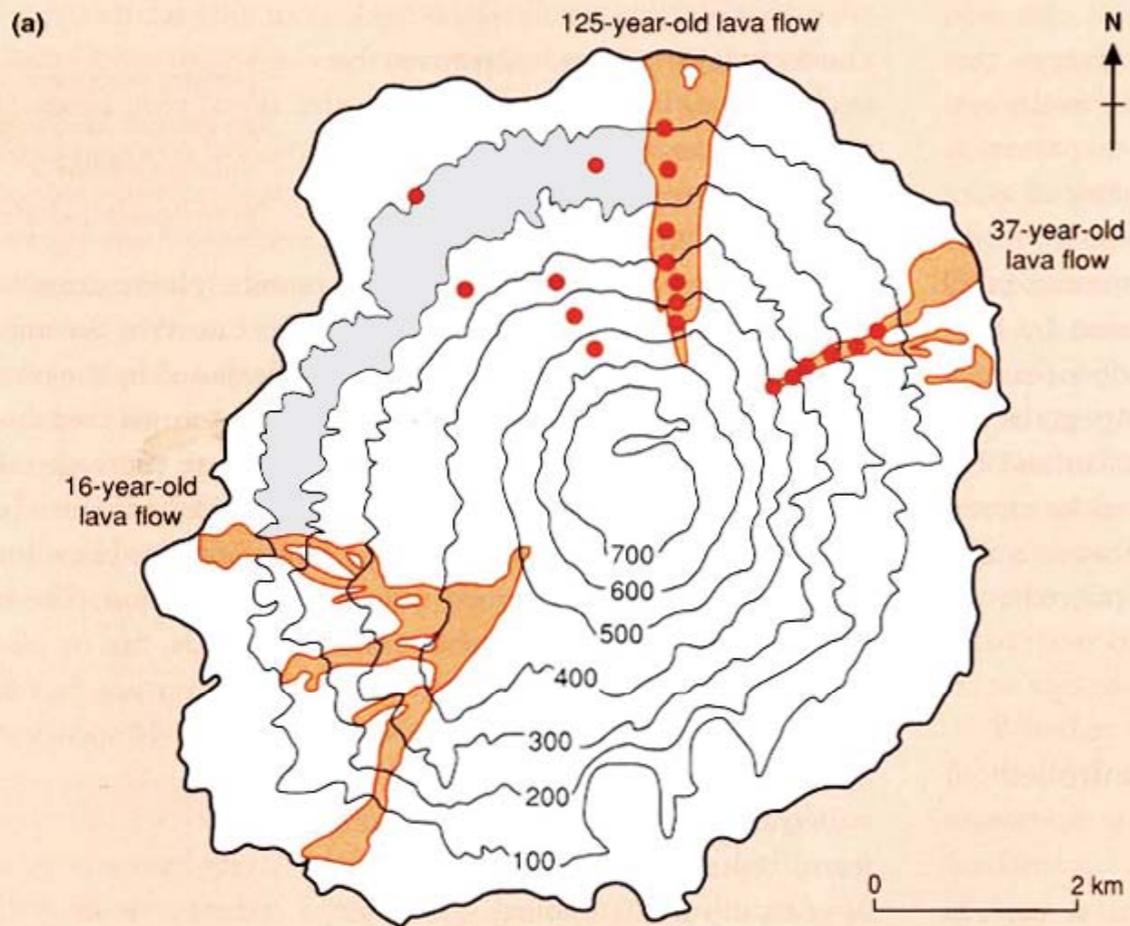
大津波

大地震

大原発事故？

大隕石

完全に元通りにはならない、世界は変化している



植生遷移 三宅島の噴火と 植生回復

Figure 16.9 (a) Vegetation was described on 16-, 37- and 125-year-old lava flows on Miyake jima Island, Japan.

ハチジョウイタドリ、ヤシャブシ定着
 ヤシャブシが窒素固定、
 徐々にオオシマザクラやタブノキ林に
 800年ほどしてスタジイの照葉樹林

Community type

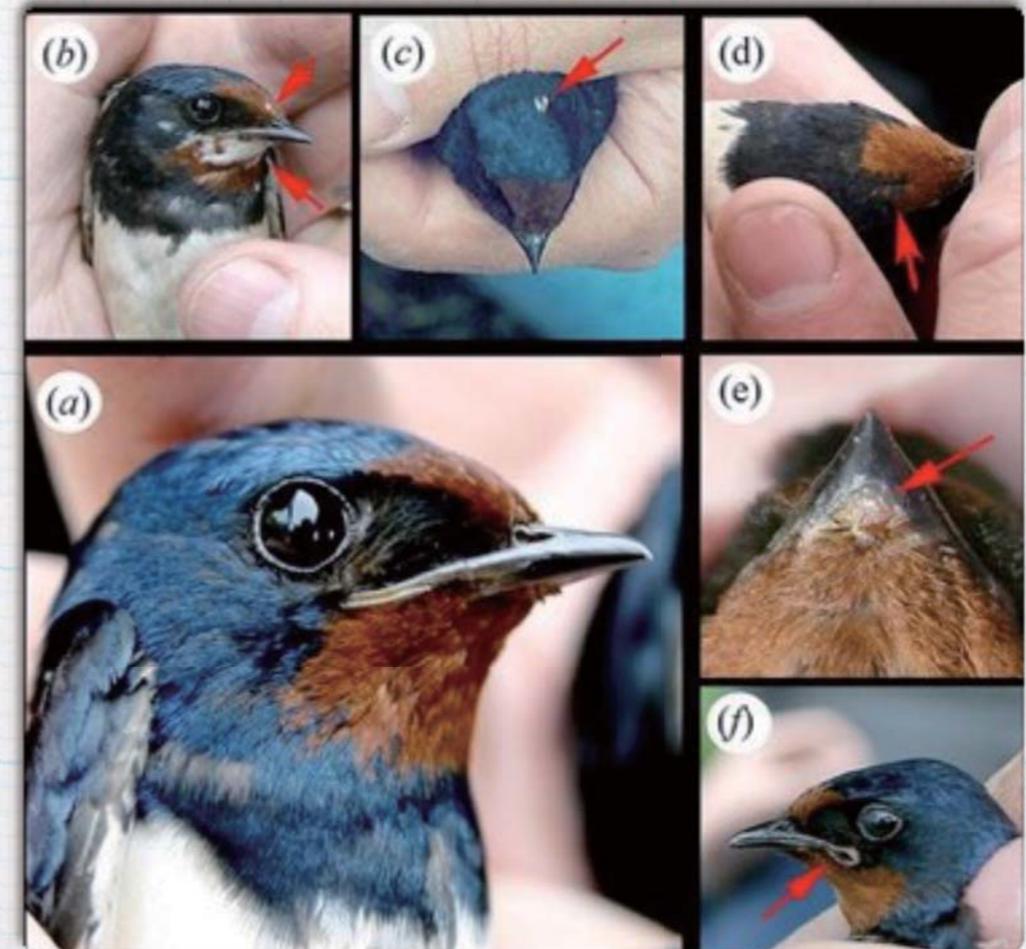


右のほうがより安定的 →

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】

Møllor & Mousseau らの研究チームの示してきた主な結果（野生の鳥の研究が多い）

この研究はいろいろなところで、紹介されています。

一方で類似の野生動物の研究は、チェルノブイリでは少ない

- 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

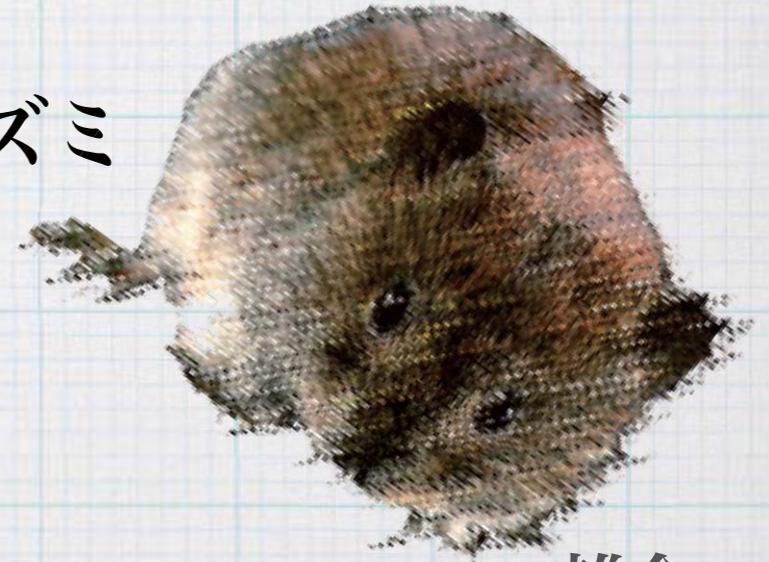
他に同様の（精力的な）研究例がなく、検証は未定。
サンプル数は多く、参考にする価値は高いと石田は考える。

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



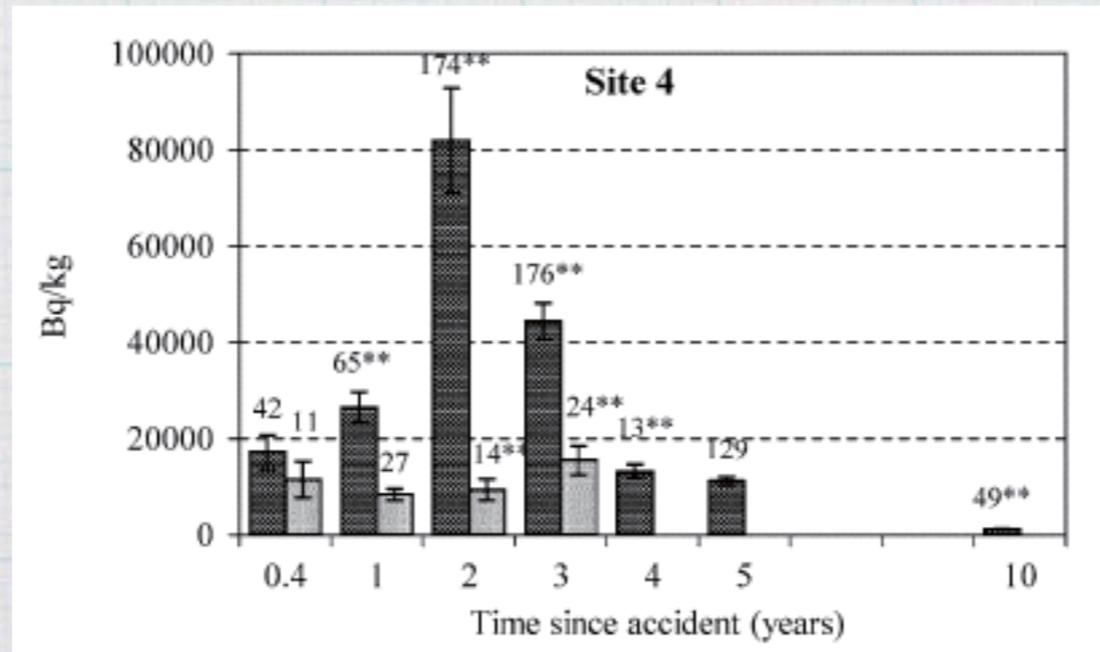
雑食

地上付近



種子食
木登り

ヒメネズミでは蓄積が顕著でない、生態の差異



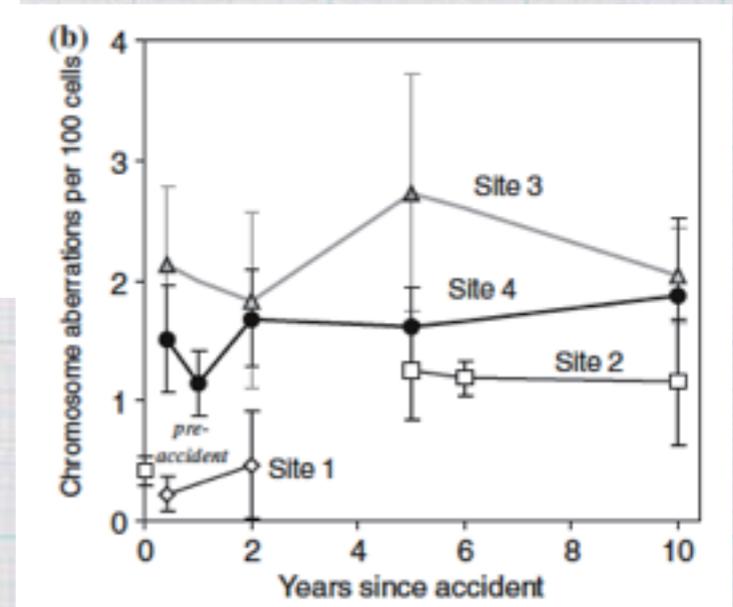
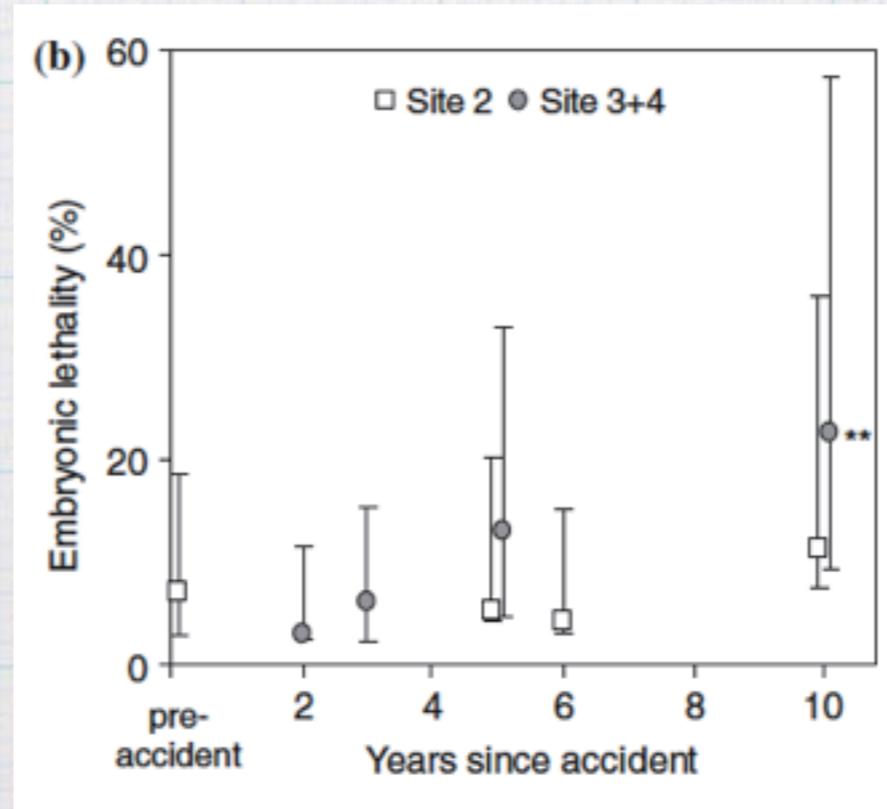
bank vole
mouse

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**

(参考)

カメムシ16,367個体

Hesse-Honegger & Wallimann (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)



この浪江の個体
は正常?

2011.10.9 Namie, Fukushima

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

- 放射線の確率的作用と生態環境



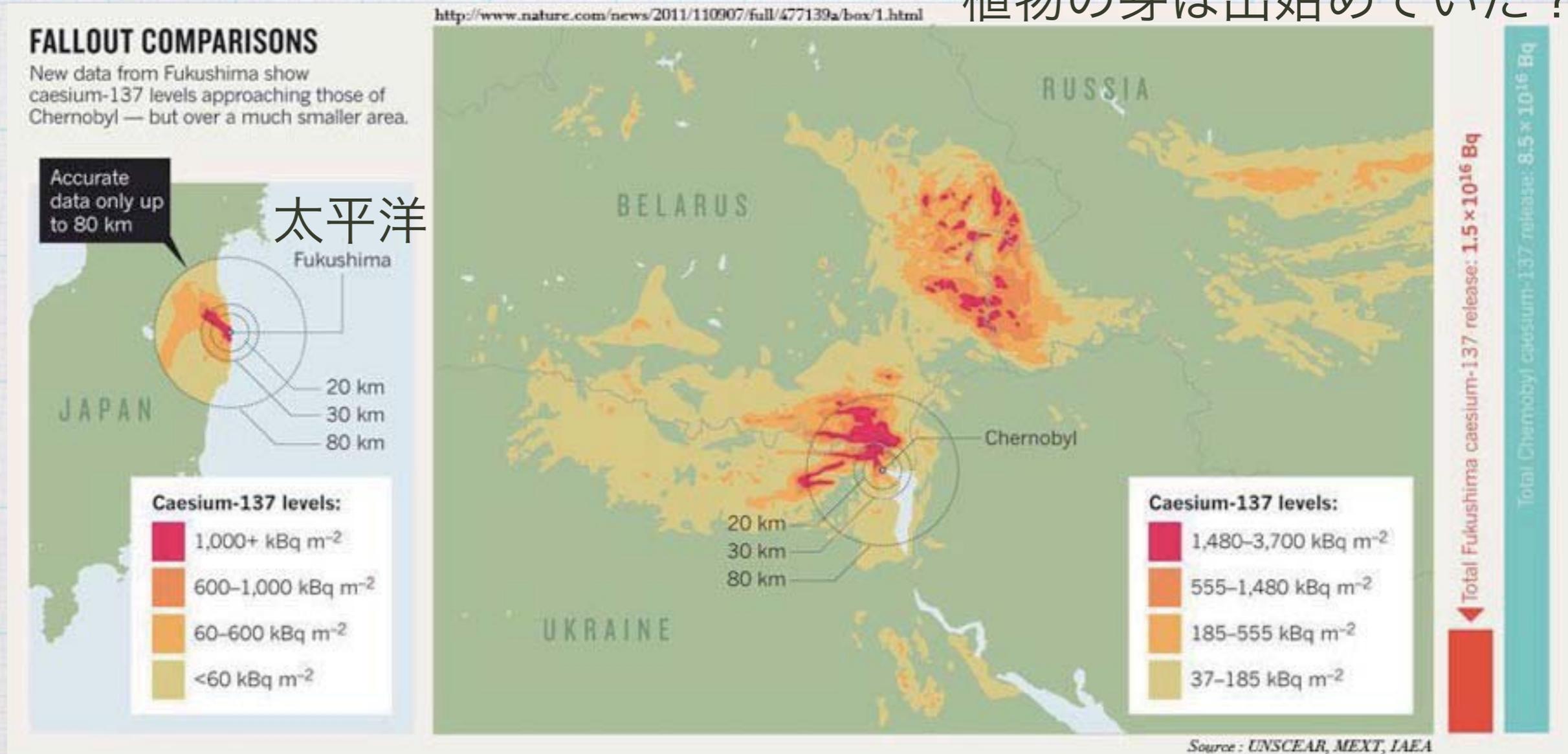
Fukushima Daiichi Nuclear Power Plant = F1-NPP

福島第一とチェルノブイリ原発事故の比較

3月11日開葉前

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

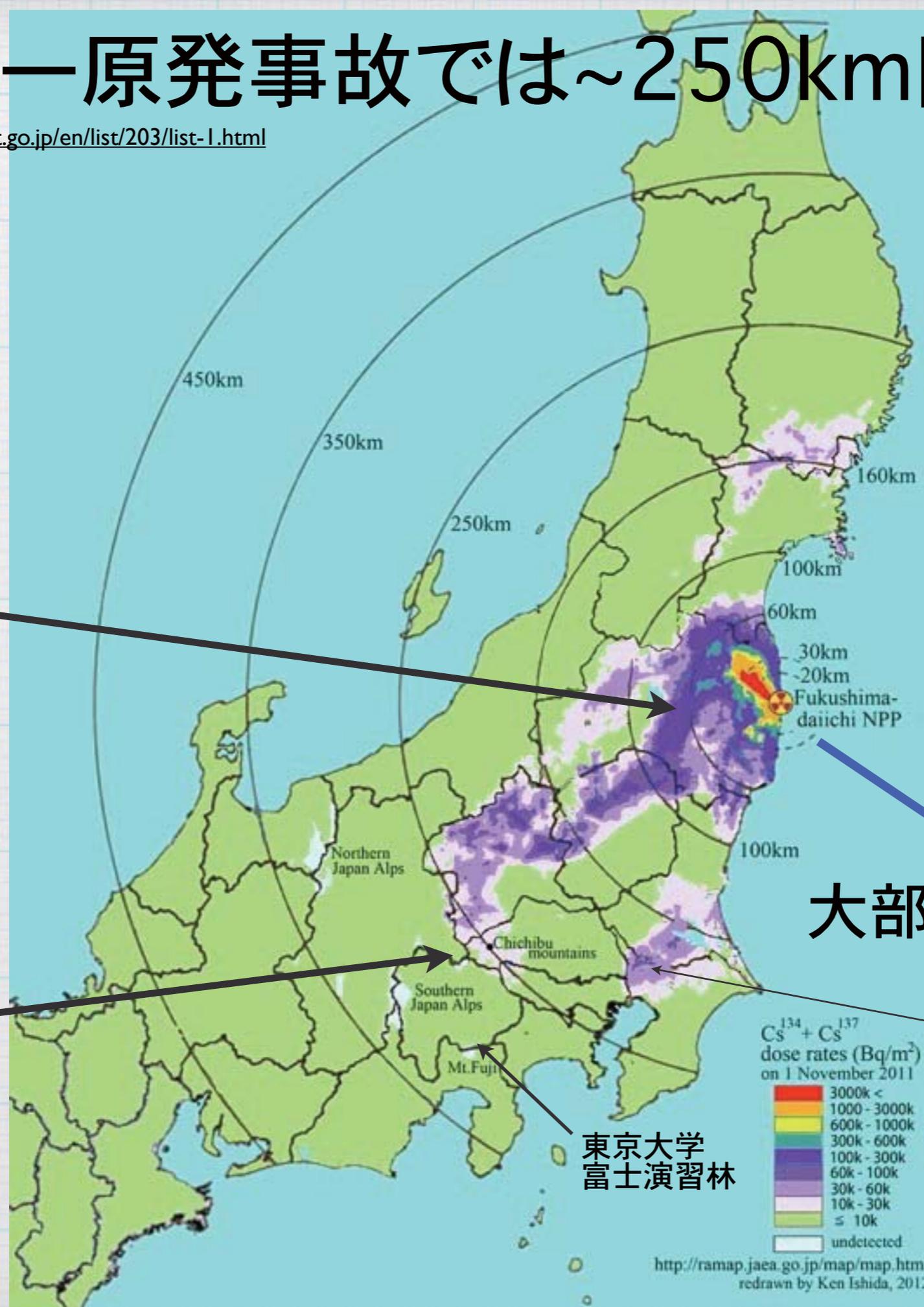
★ 事故の起こった季節による影響の差異は大きいはず

the time and the day of the next year

2012/03/11 14:46
Akaugi, Namie Fukushima, Japan

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

東京大学
富士演習林

東京大学
柏キャンパス

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

事故は開葉前

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

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

大部分の巣材は、低線量だったらしい（山階鳥類研究所他）



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

この巣は2012～2016は不使用

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

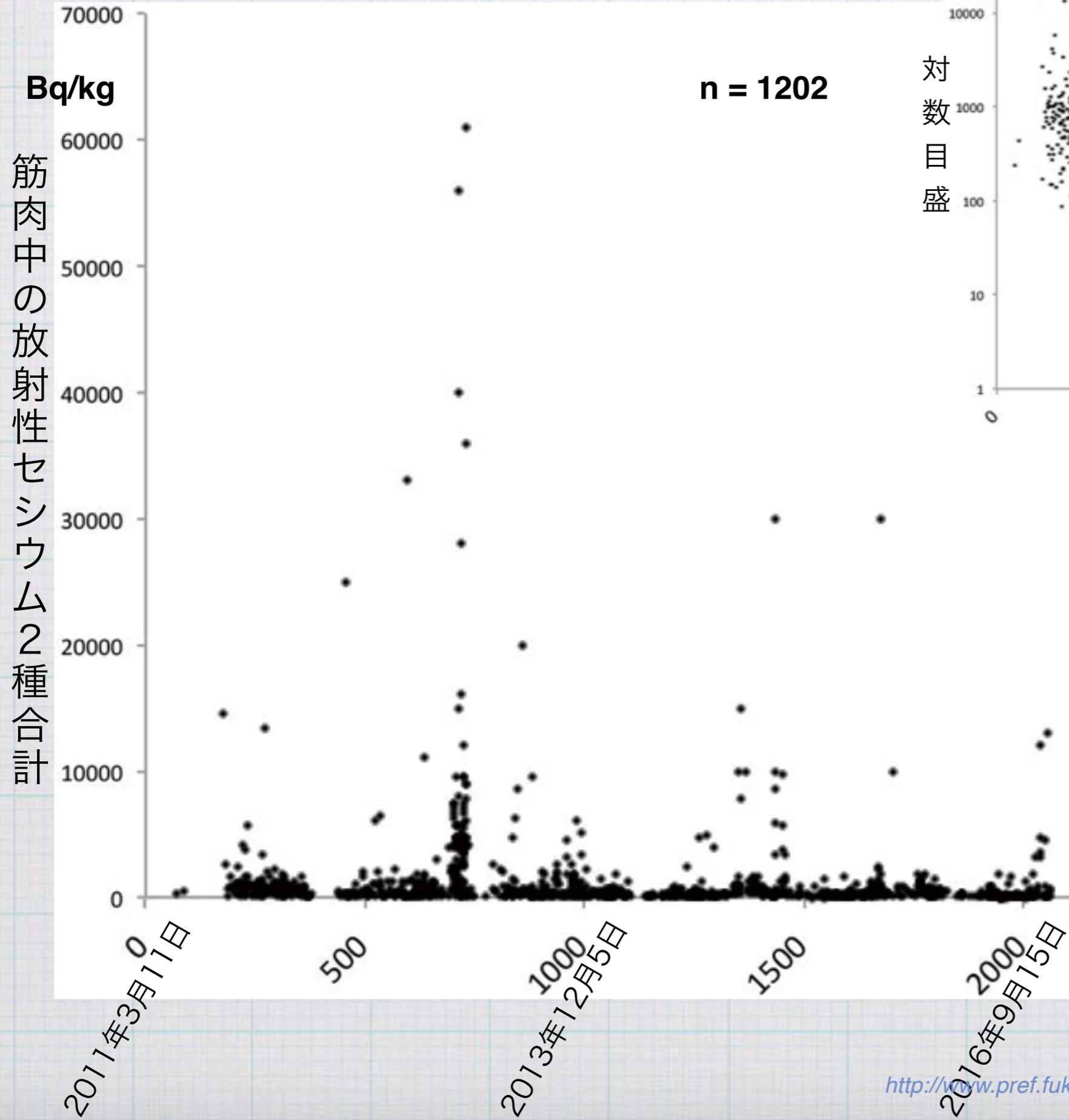


葛尾村

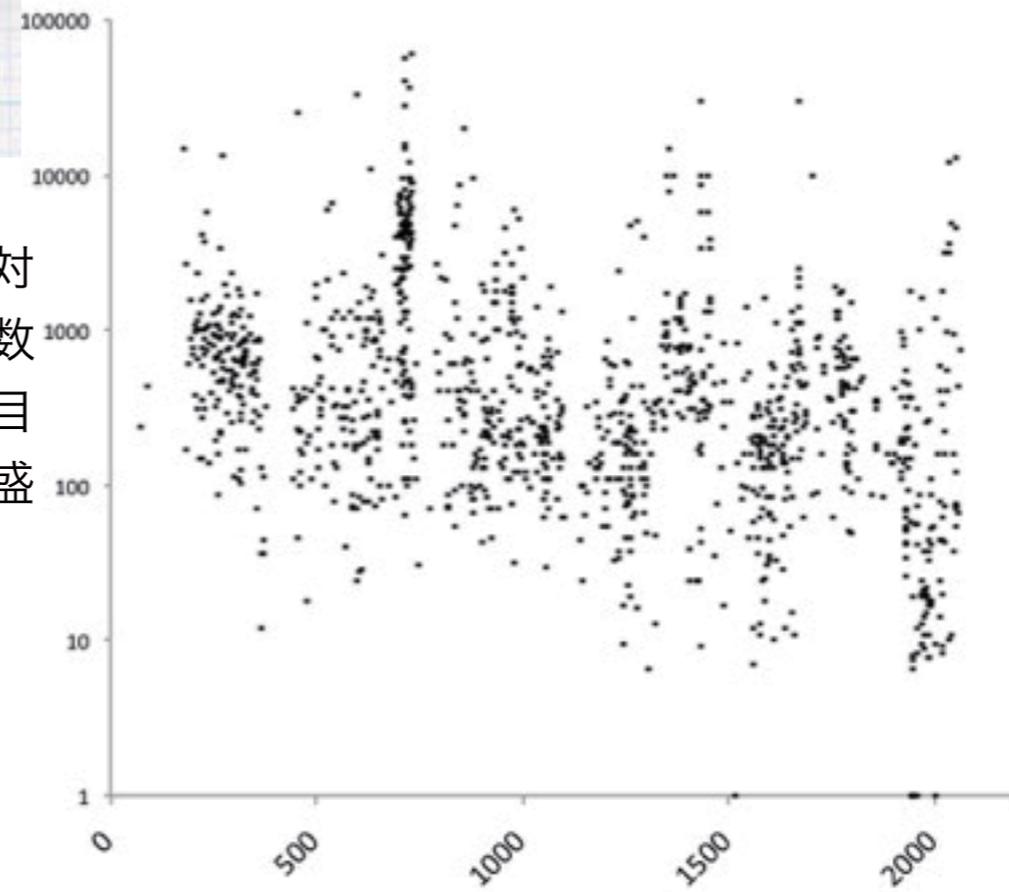


奄美大島のリュウキュウイノシシ

福島県のイノシシ



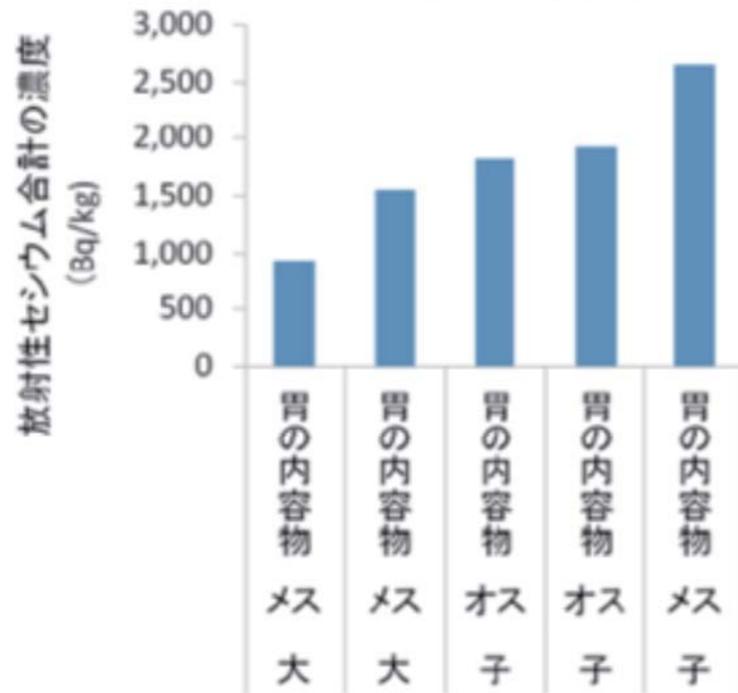
対数
目盛



石田がエクセル表に再入力して集計

福島県発表

胃の内容物 飯館村で駆除したイノシシ

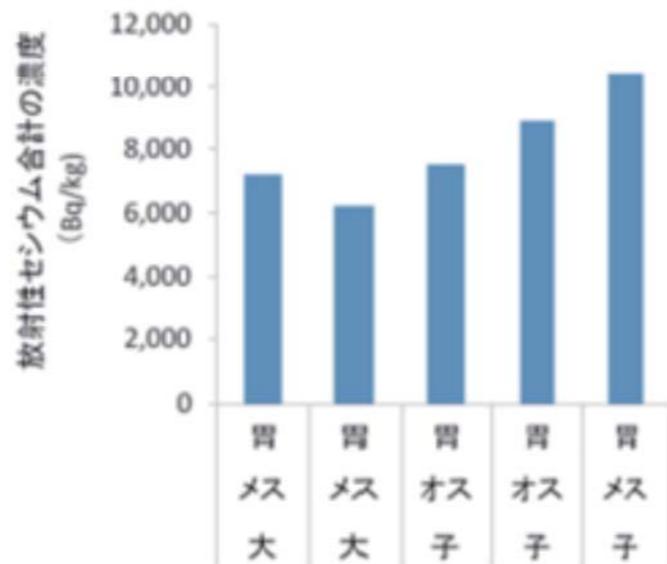


個体間差

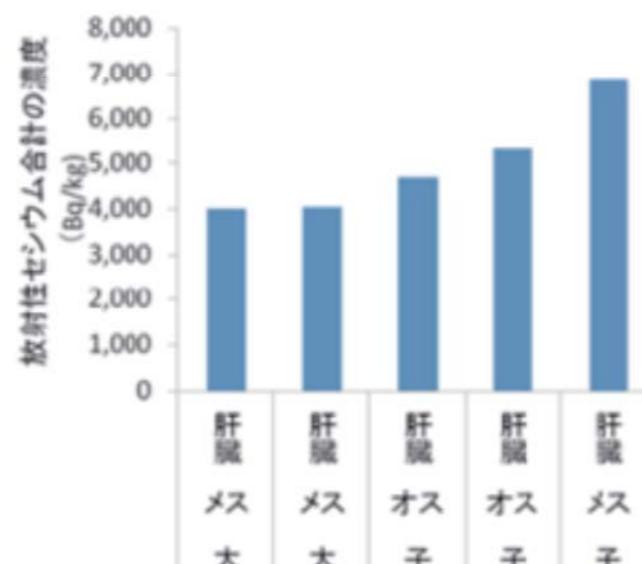
食べ物の違い？

田野井慶太郎氏作図、提供

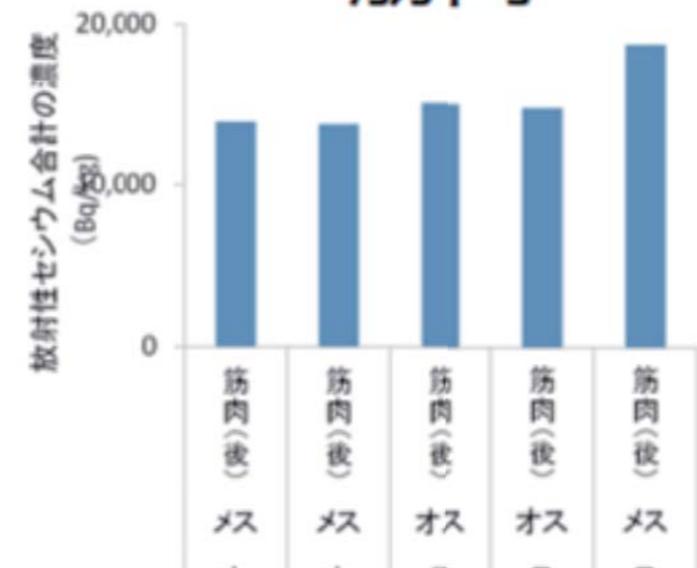
胃



肝臓



筋肉



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

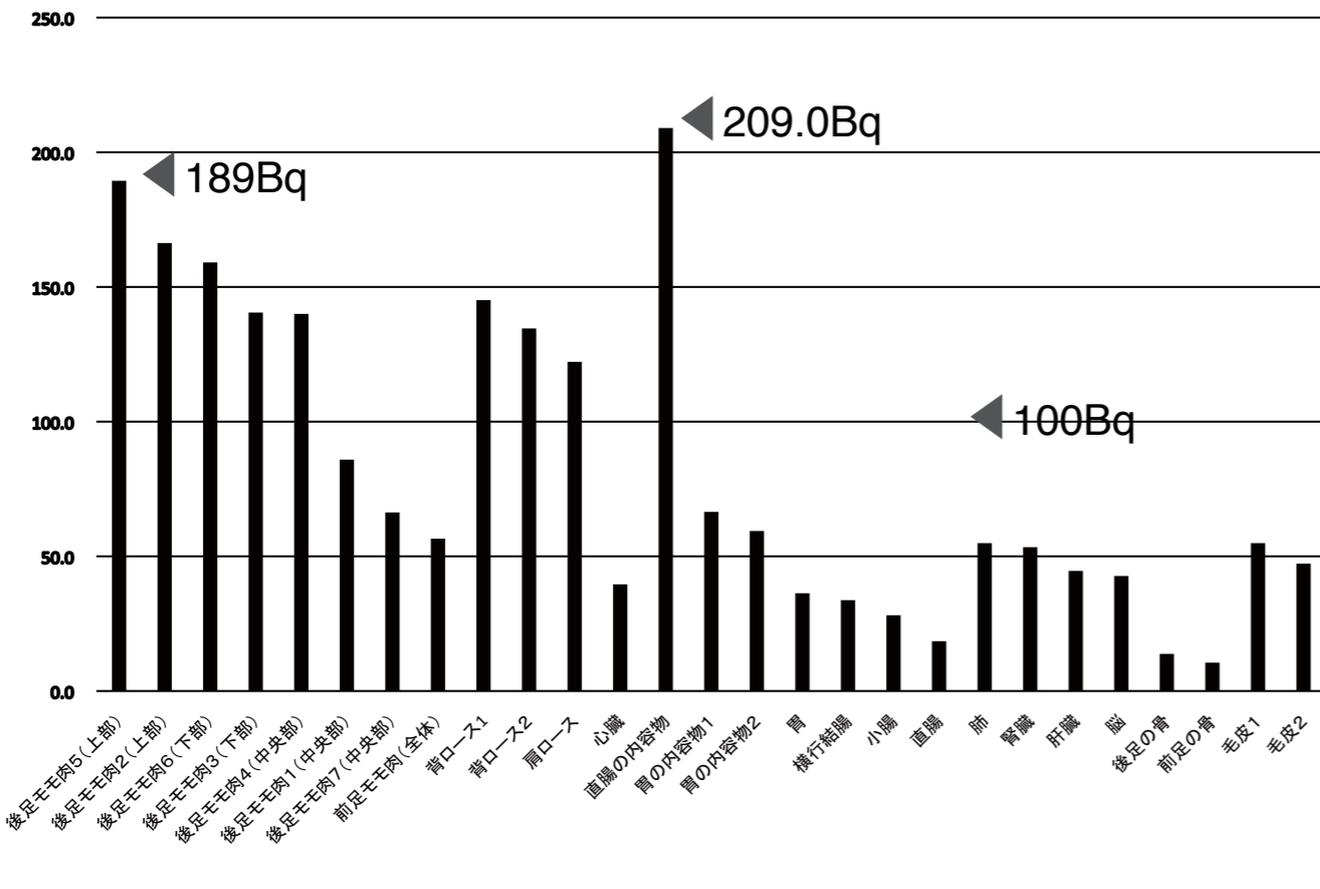
埼玉県秩父地方の民間の測定活動

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

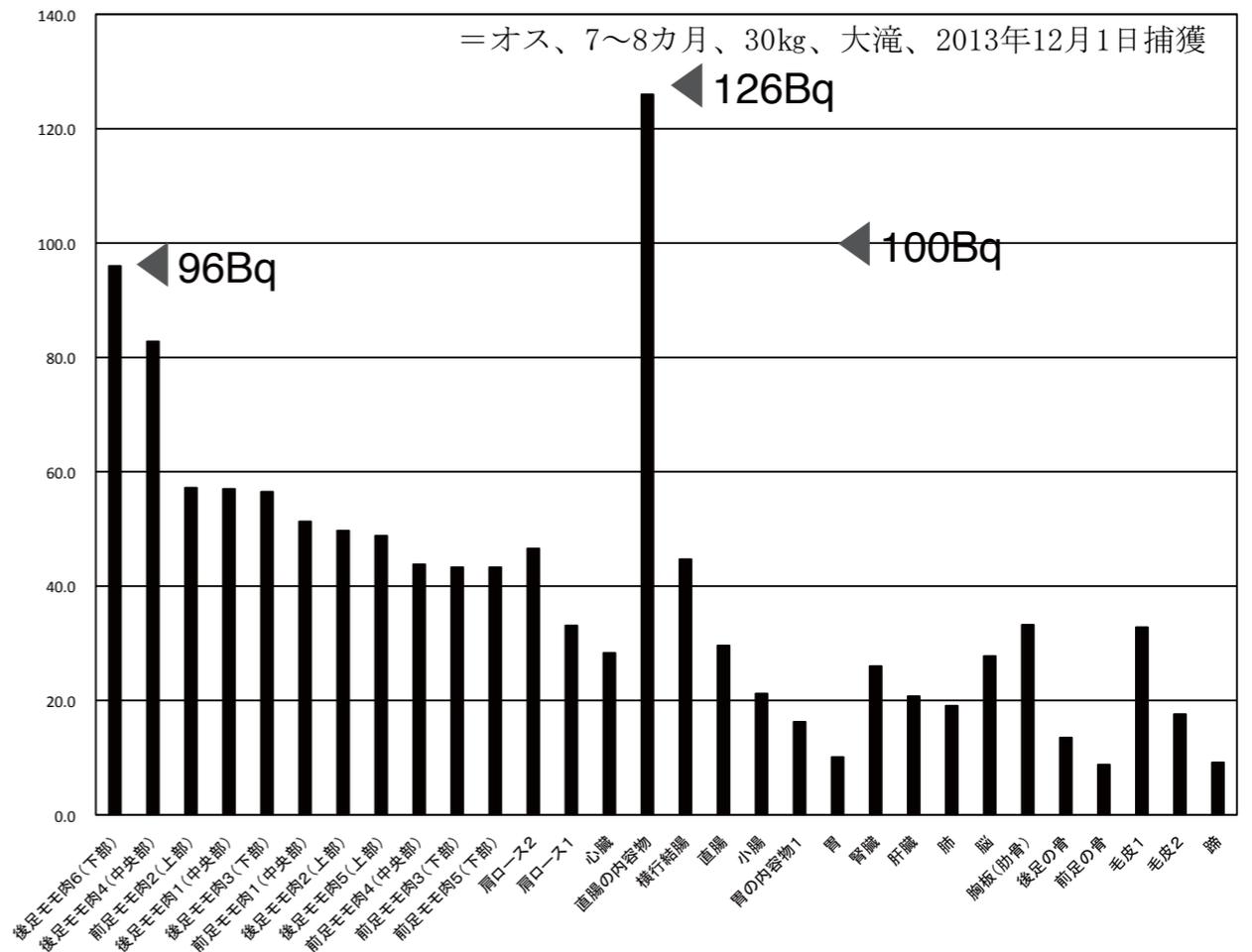


◀ 捕獲地点付近の腐葉土 198.2Bq

▼ 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



- ・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。一般食品基準(100 Bq)を超過している。
- ・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

July 7, 2016 36+185=220Bq/kg
位置未確認、この付近

2013

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

Oct.21, 310+510=820Bq/kg

2012

奥多摩町

飯能市

入間市

青梅市

所沢市

250km



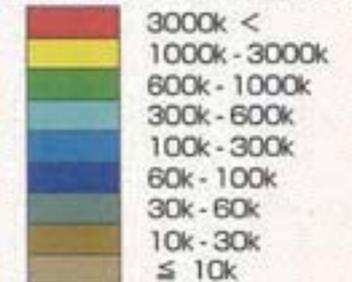
5339 - A

文部科学省

放射線量等分布マップ
- 航空機モニタリング -

凡例
セシウム134及びセシウム137の
合計の沈着量 (Bq/m²)

[2012年5月31日現在の値に換算]



測定結果が
得られていない範囲

*放射性セシウムの沈着量のマップについては、
放射性セシウムの有能なエネルギースペクトルが
検出されていない地域を特定した上で、これらの
地域については、マップ上の最低のレンジ
(10kBq/m²)として表記することとしております。

- 警戒区域
- 計画的避難区域
- 帰還困難区域
- 居住制限区域
- 避難指示解除準備区域
(2012年8月10日時点)

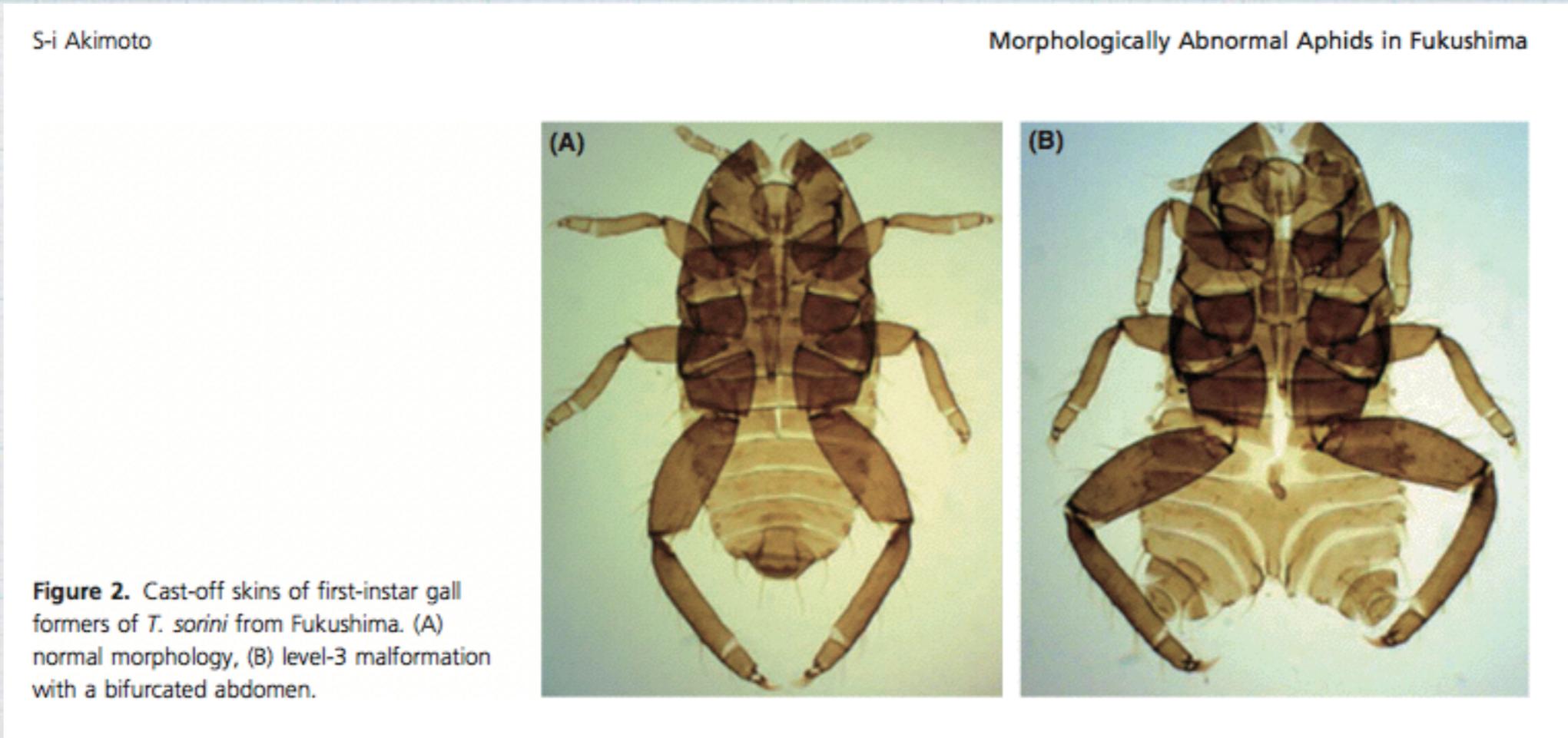
0 4 8 km

背景地図：電子国土

シカ（狩猟個体）の筋肉

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

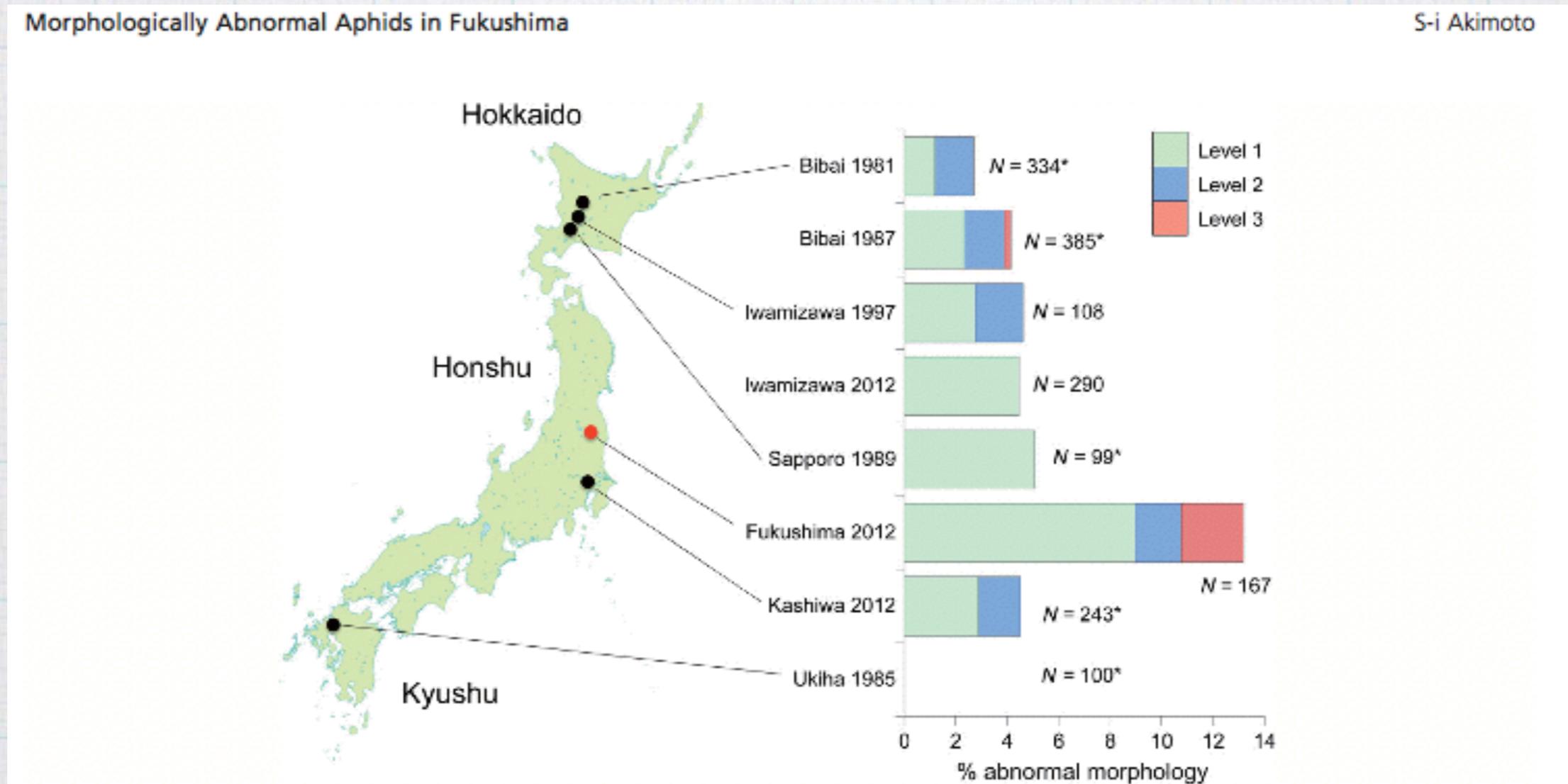


Figure 1. Percentage abnormal morphologies in *Tetraneura sorini* first-instar gall formers from eight populations. Asterisks in sample sizes indicate that first instars were collected from buds, whereas nonasterisked figures indicate that first-instar's cast-off skins were collected from galls. Level 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

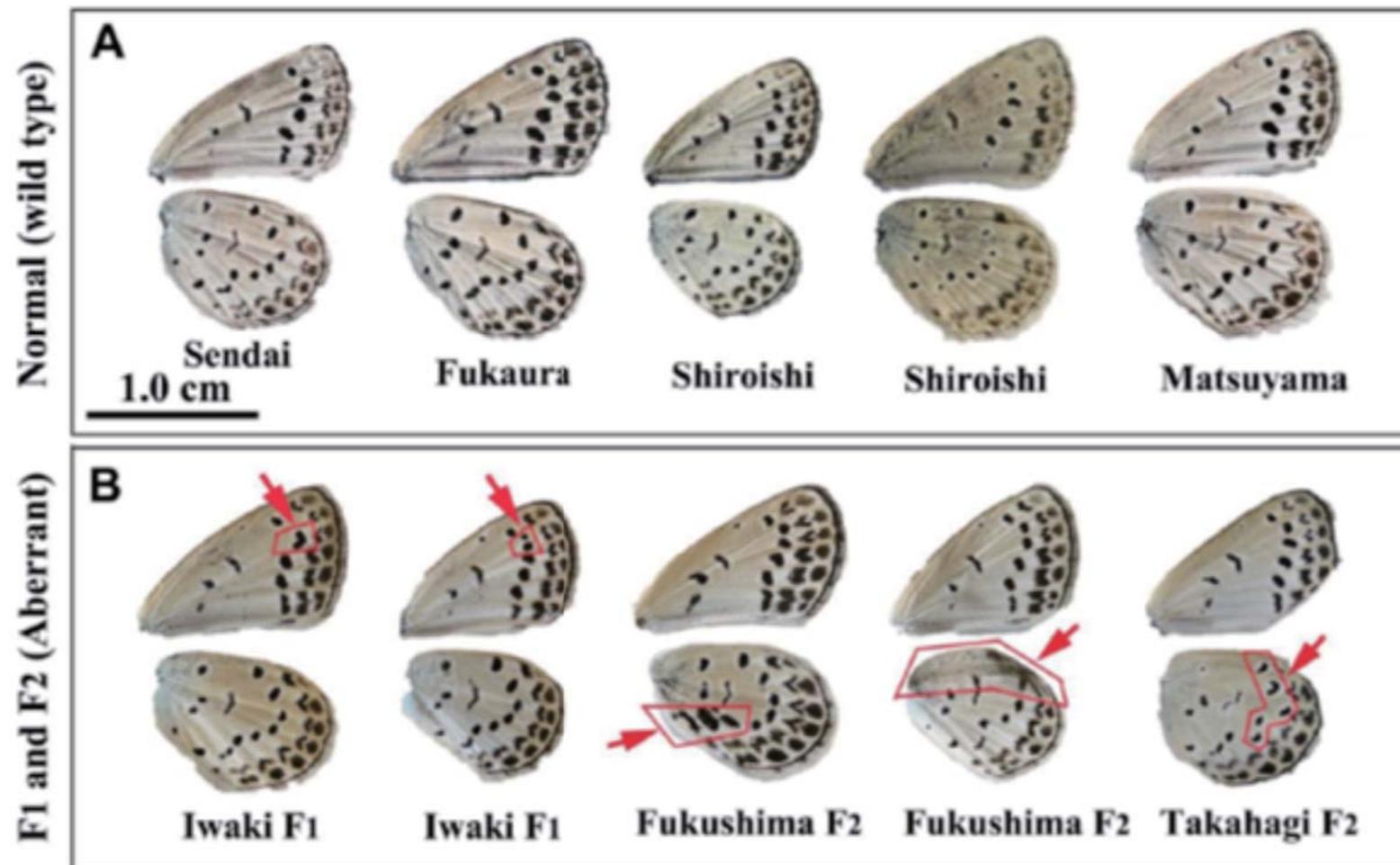
ワタムシの卵を赤字木のホットスポット
の土の上で孵化させたら、

孵化が、わずかに早まった。

(Akimoto *et al.* 投稿中)



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

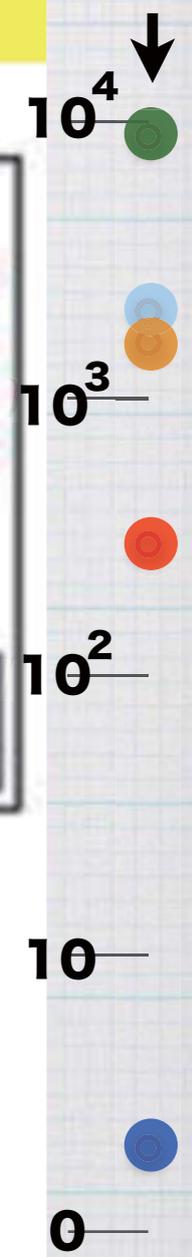
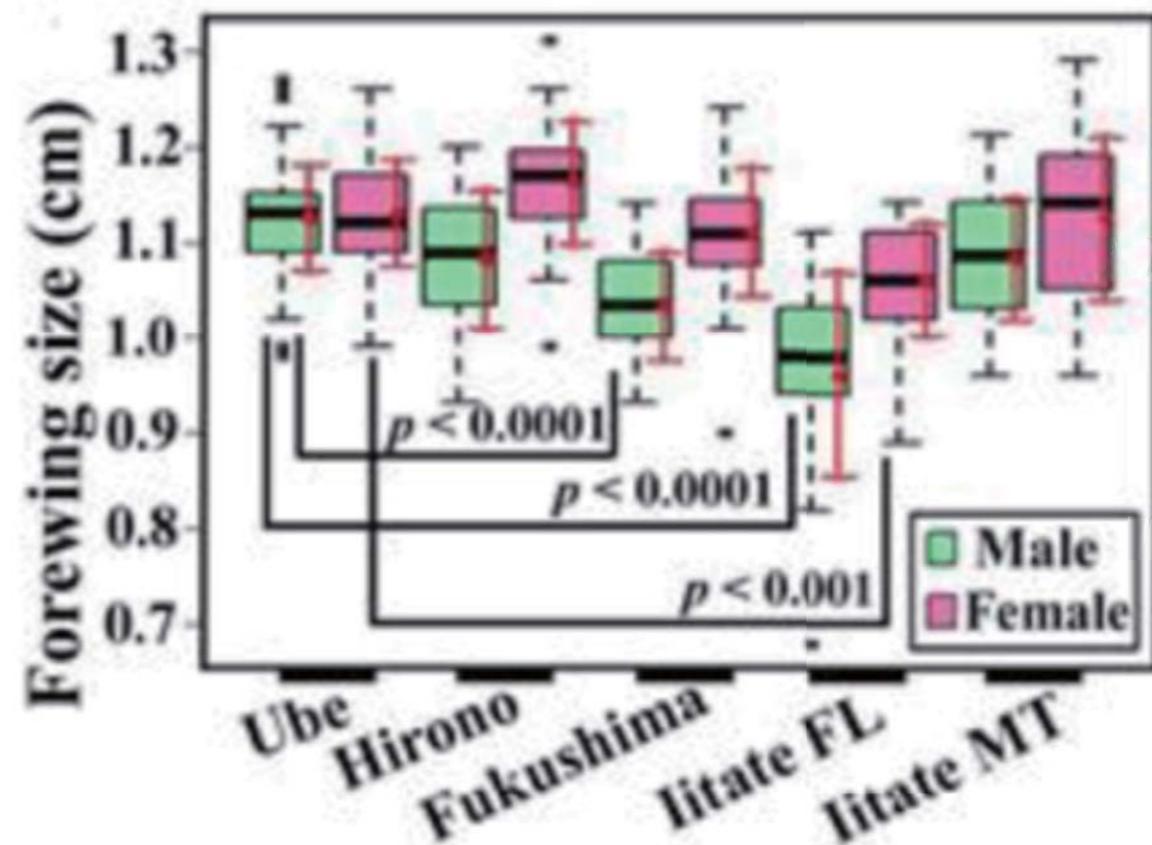
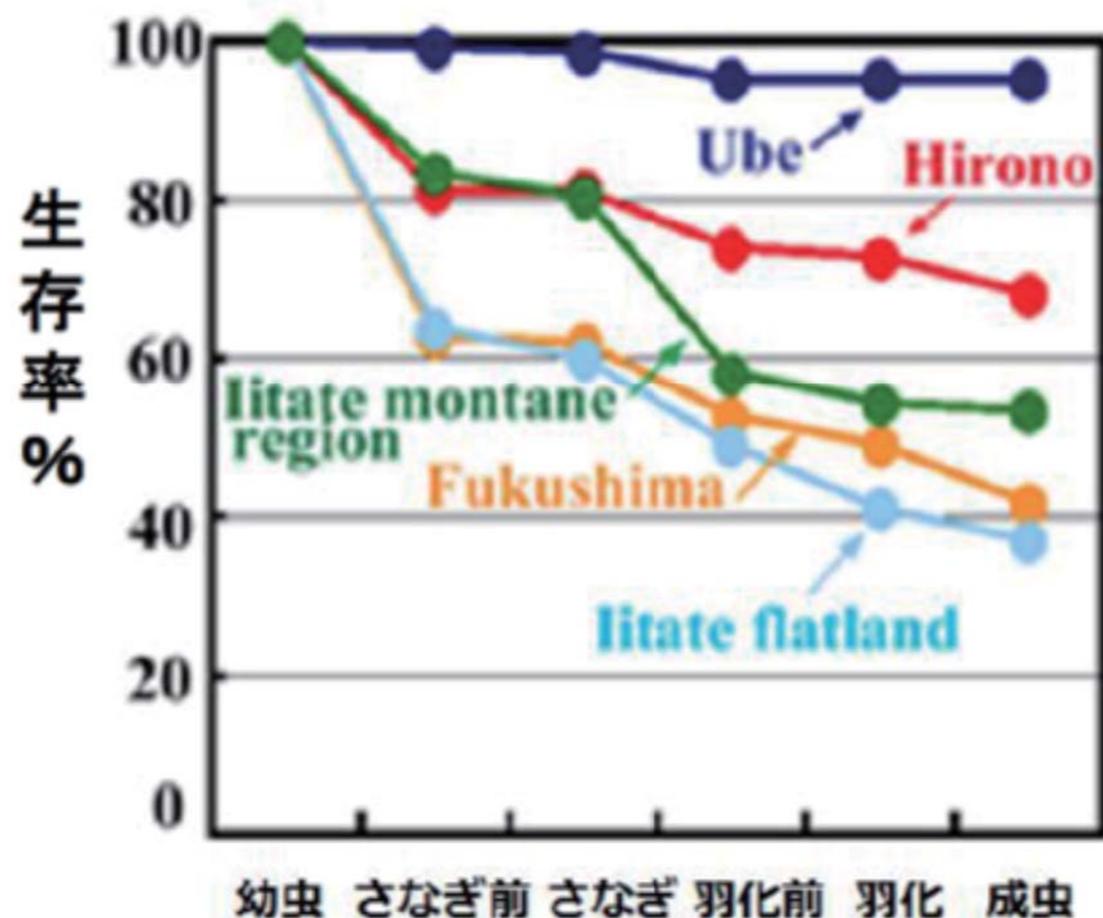
多様で法則性のない斑紋異常：他の形態異常・不妊・行動異常を伴うことが多い

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

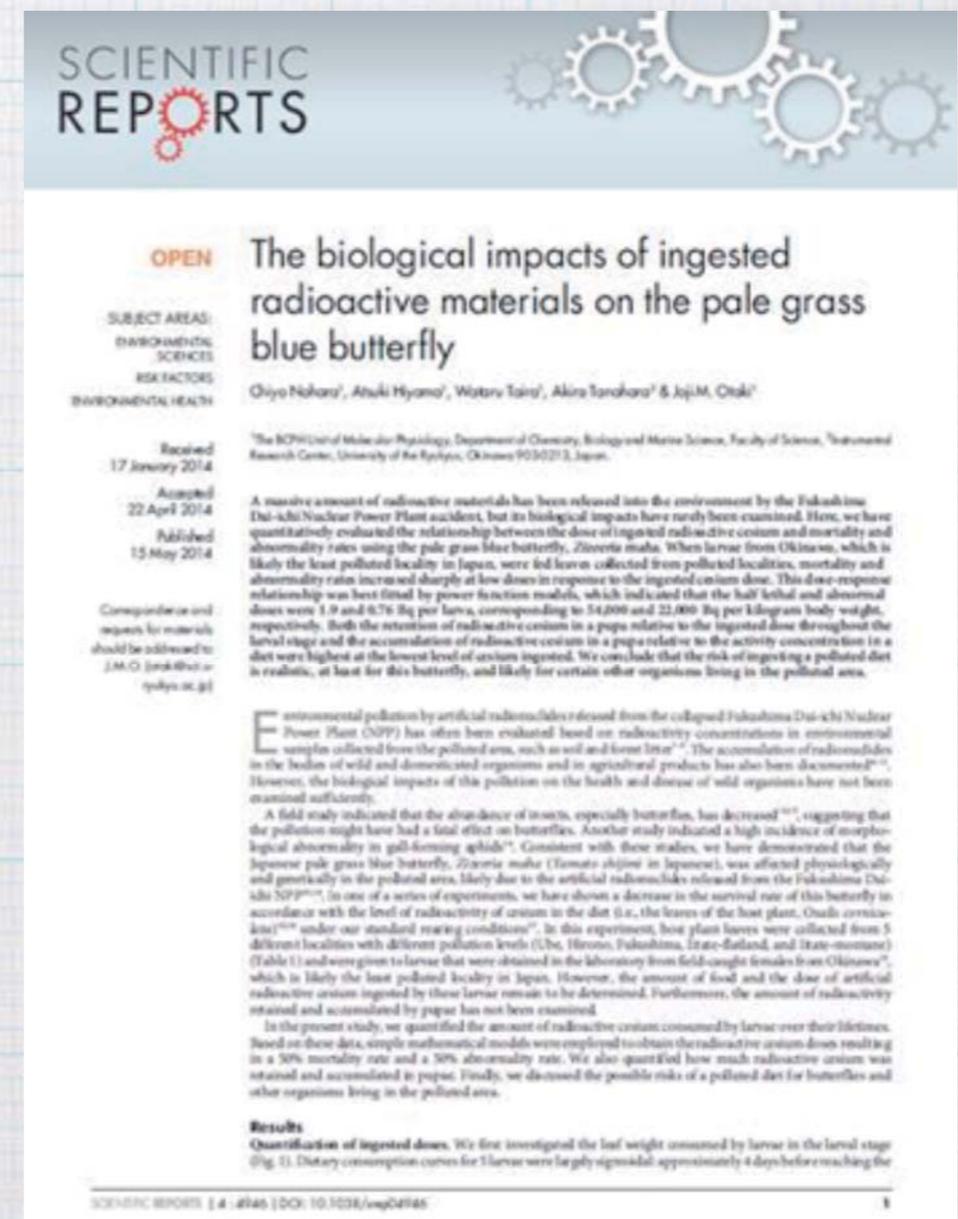
幼虫はすべて沖縄で採取した者ども

幼虫の体重を0.5gとすると、

0.8 ~ 30,000 Bq /kg 程度摂取したことになる

ずっと、同量が体内にあったわけではない

体のそばにあった飼料からも外部被ばく??



閾値 があるように見える

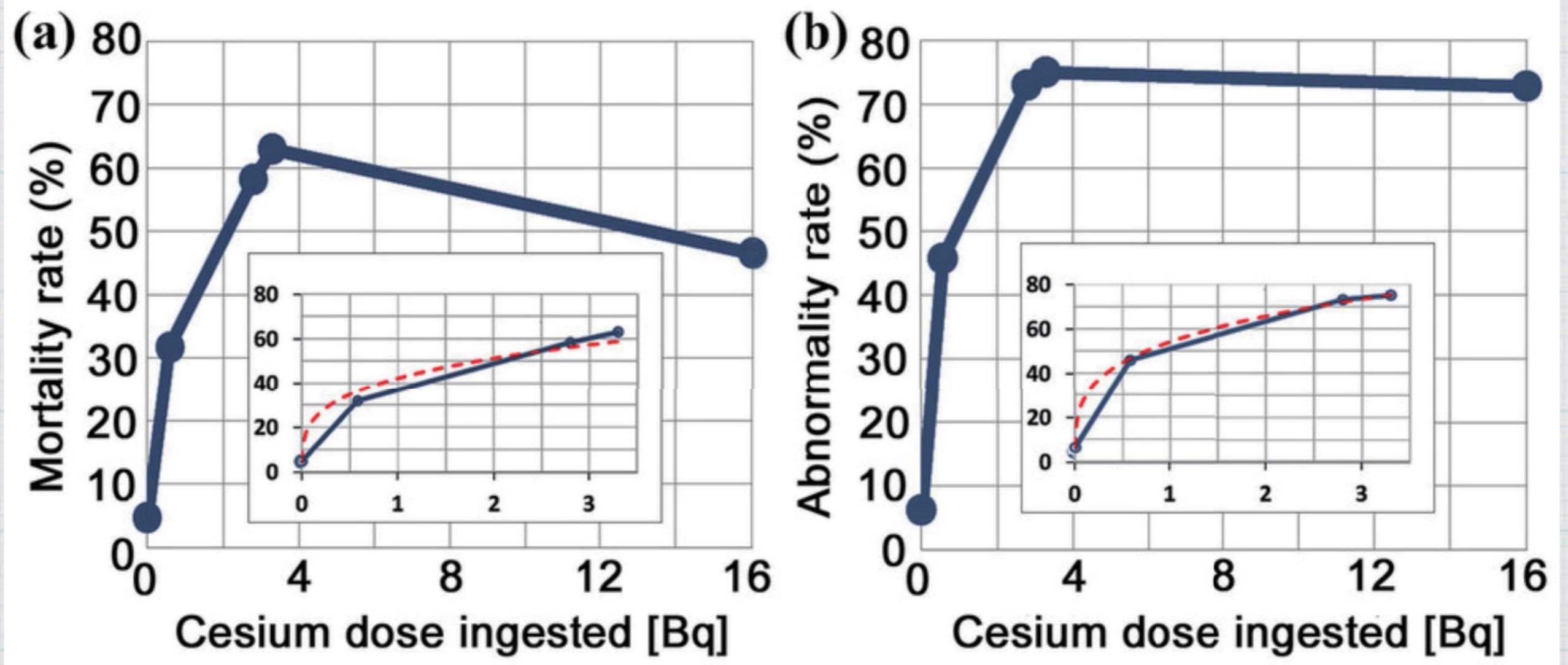


図2. 放射性セシウム摂取量に対する、幼虫1個体あたりの死亡率(a)と異常率(b)

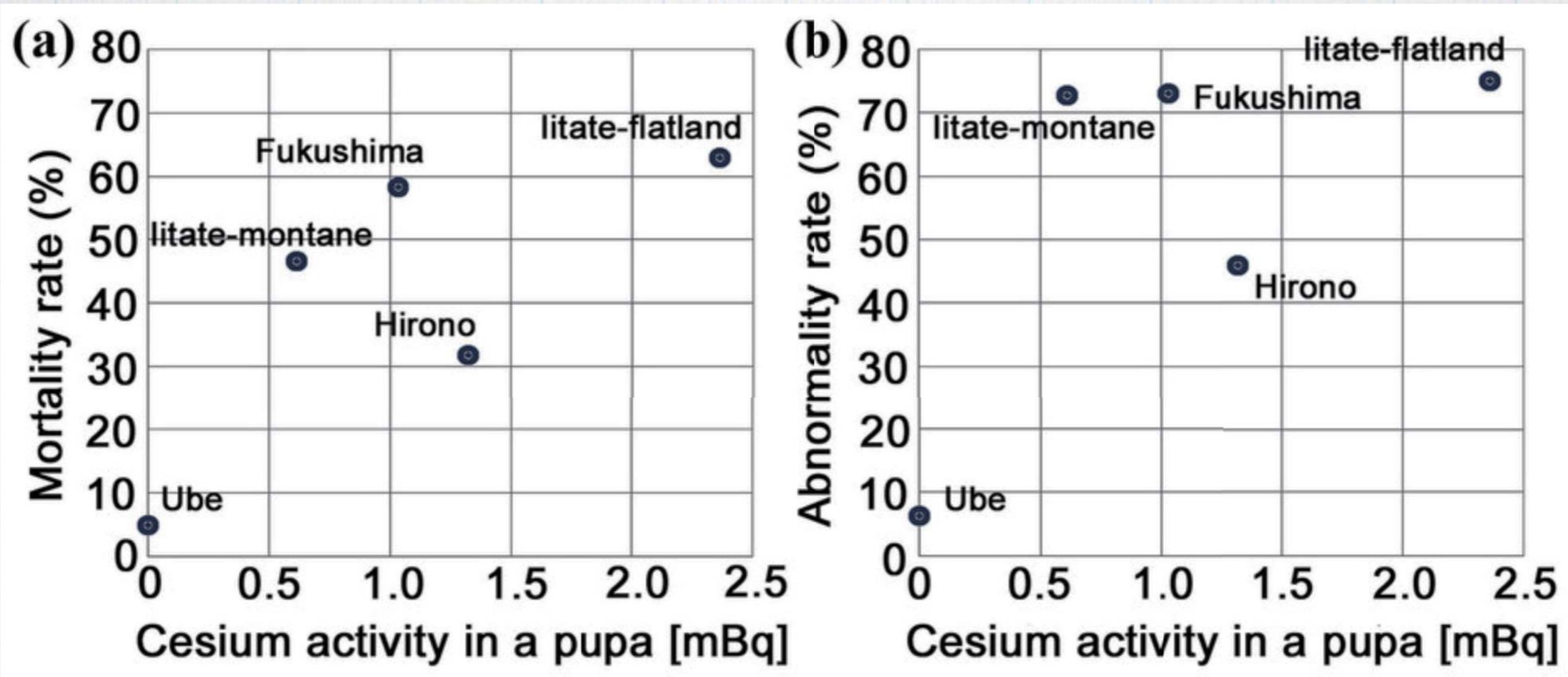


図3. 蛹内のセシウム線量と死亡率(a)、異常率(b)の関係

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？

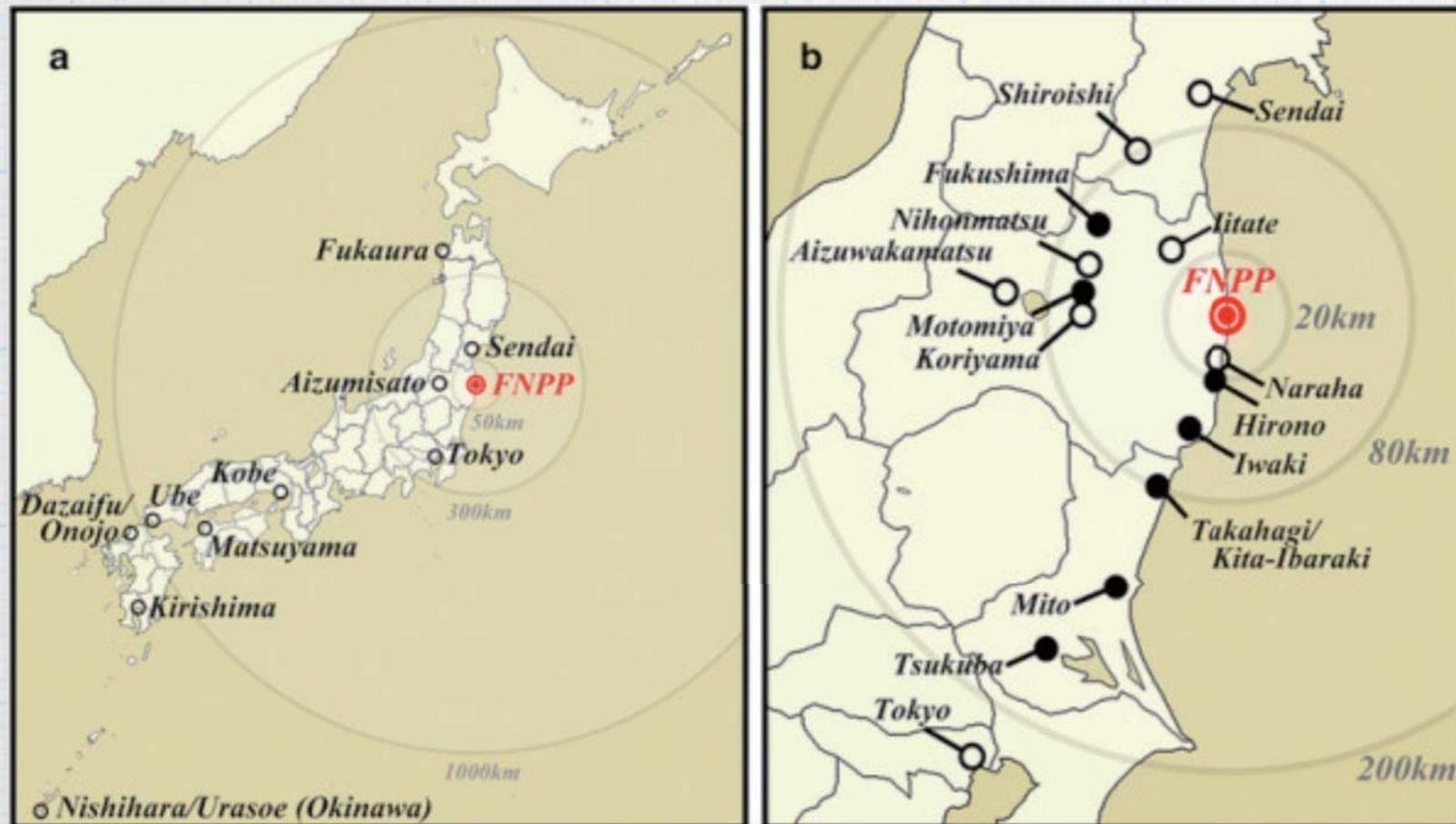
(気候が異なるとカタバミの葉の性質も変わるかもしれない。
地域によって、殺虫剤、除草剤等の使い方が異なるかもしれない。
宇部のカタバミはどのような環境から採ったものか。東京の
街中にもカタバミはある。)

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

Hyama et al. BMC Evolutionary Biology (2015) 15:115
DOI 10.1186/s12862-015-0251-1

RESEARCH ARTICLE Open Access

Spatiotemporal abnormality dynamics of the pale grass blue butterfly: three years of monitoring (2011–2013) after the Fukushima nuclear accident

Akaki Hyama, Wataru Taka, Chiyo Nishino, Mayo Iwawaki, Seiya Kiyoi, Masaki Iwata and Jiji M Ochi^{1*}

Abstract

Background: Long-term monitoring of the biological impacts of the radioactive pollution caused by the Fukushima nuclear accident in March 2011 is required to understand what has occurred in organisms living in the polluted areas. Here, we investigated spatial and temporal changes of the abnormality rate (AR) in both field-caught adult populations and laboratory-reared offspring populations of the pale grass blue butterfly, *Glaucopsyche xuthops*, which has generation time of approximately one month. We monitored 7 localities (Fukushima, Motomiya, Nihojima, Iwaki, Takahagi, Mito, and Tsukuba) every spring and fall over 3 years (2011–2013).

Results: The adult ARs of these localities quickly increased and peaked in the fall of 2011, which was not observed in non-contaminated localities. In the offspring generation, the total ARs, which include deaths at the larval, prepupal, and pupal stages and morphological abnormalities at the adult stage, peaked either in the fall of 2011 or in the spring of 2012, with much higher levels than those of the parent field populations, suggesting that high incidence of deaths and abnormalities might have occurred in the field populations. Importantly, the elevated ARs of the field and offspring populations settled back to a normal level by the fall of 2012 and by the spring of 2013, respectively. Similar results were obtained not only in the spatiotemporal dynamics of the number of individuals caught per month but also in the temporal dynamics of the correlation coefficient between the adult abnormality rate and the ground radiation dose or the distance from the Power Plant.

Conclusions: These results demonstrated an occurrence and an accumulation of adverse physiological and genetic effects in early generations, followed by their decrease and leveling off at a normal level, providing the most comprehensive record of biological dynamics after a nuclear accident available today. This study also highlights the importance of considering generation time and adaptive evolution in evaluating the biological impacts of artificial pollution in wild organisms.

Keywords: Adaptive evolution, Fukushima nuclear accident, long-term monitoring, Pale grass blue butterfly, Radioactive contamination

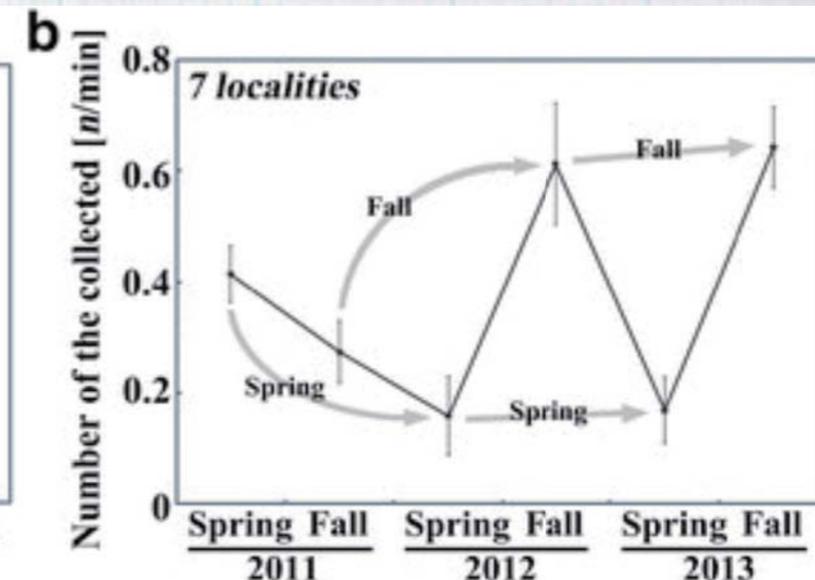
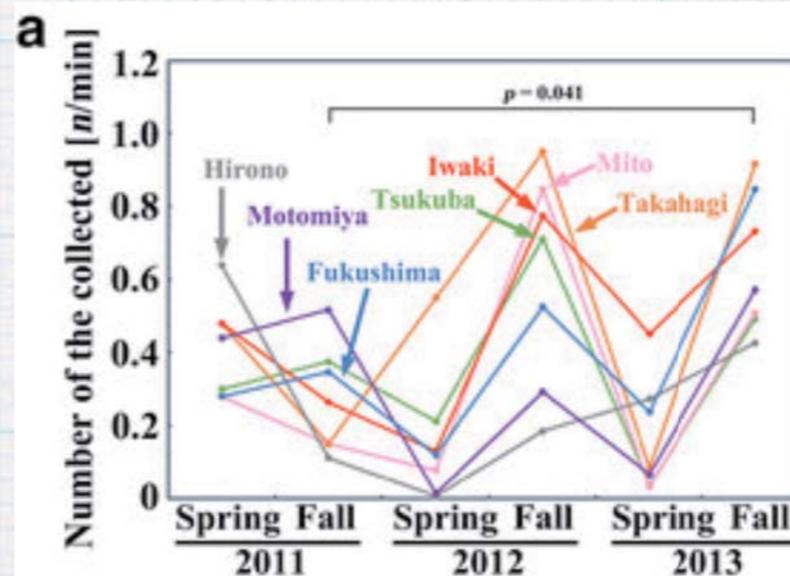
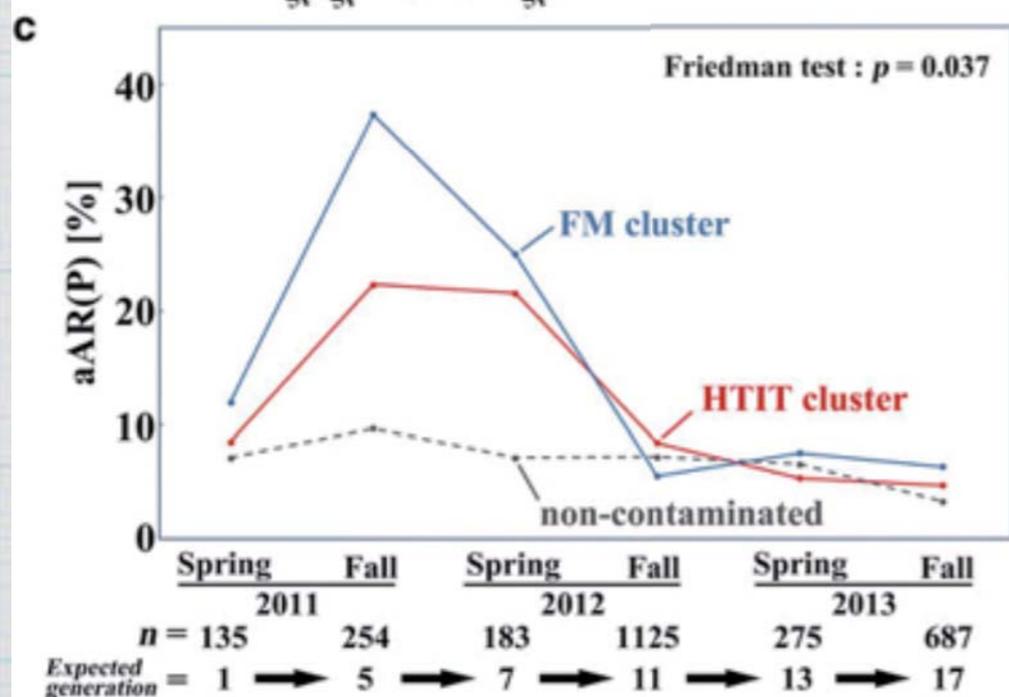
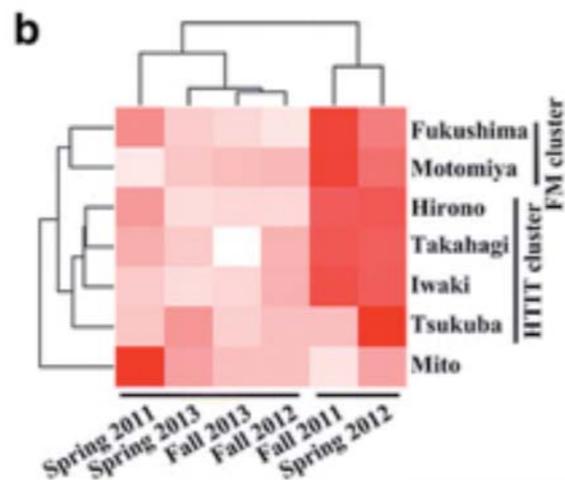
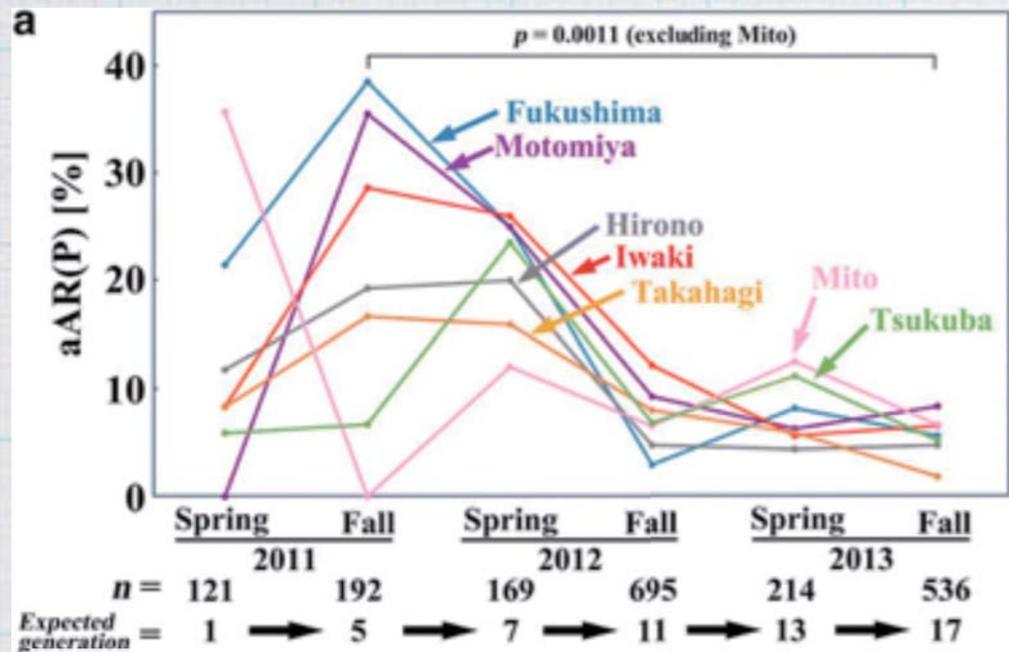
Background

The release of a massive amount of radioactive materials from the Fukushima Dai-ichi nuclear power plant (FNPP) to the surrounding environment on 15 March 2011 and afterwards resulted in large-scale radioactive pollution worldwide and especially across pollution in the Tohoku and Kanto districts of Japan [1,2]. Both marine and forest ecosystems have been heavily polluted [3,4], but scientific studies on biological impacts of this accident are still scarce. Yet, such studies are gradually accumulating now, which include changes in abundance of animals, especially birds and butterflies, in the polluted areas [5,6]. Recently, low-billed cormorants have been reported in wild Japanese cormorants [7]. In gall-forming aphids, severe morphological abnormalities have been documented from Fukushima samples, which are rare from other regions [8]. In some of these studies, insects played an important role as environmental indicators.

* Correspondence: jiji@bio.nippon.ac.jp
The NIPON Center for Evolutionary Biology, Department of Chemistry, Biology, and Environmental Science, University of Tsukuba, Tsukuba 305-8571, Japan

BioMed Central

© 2015 Hyama et al.; licensee BioMed Central. This is an Open Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution License (<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>), which permits unrestricted use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly credited. The Creative Commons Attribution License applies to the text of the article, but not necessarily to the graphics or other content included in the article's HTML file.



↑ 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个体がいるなど。

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、西日本に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。ダフ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

放射線の付加はその一部

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：

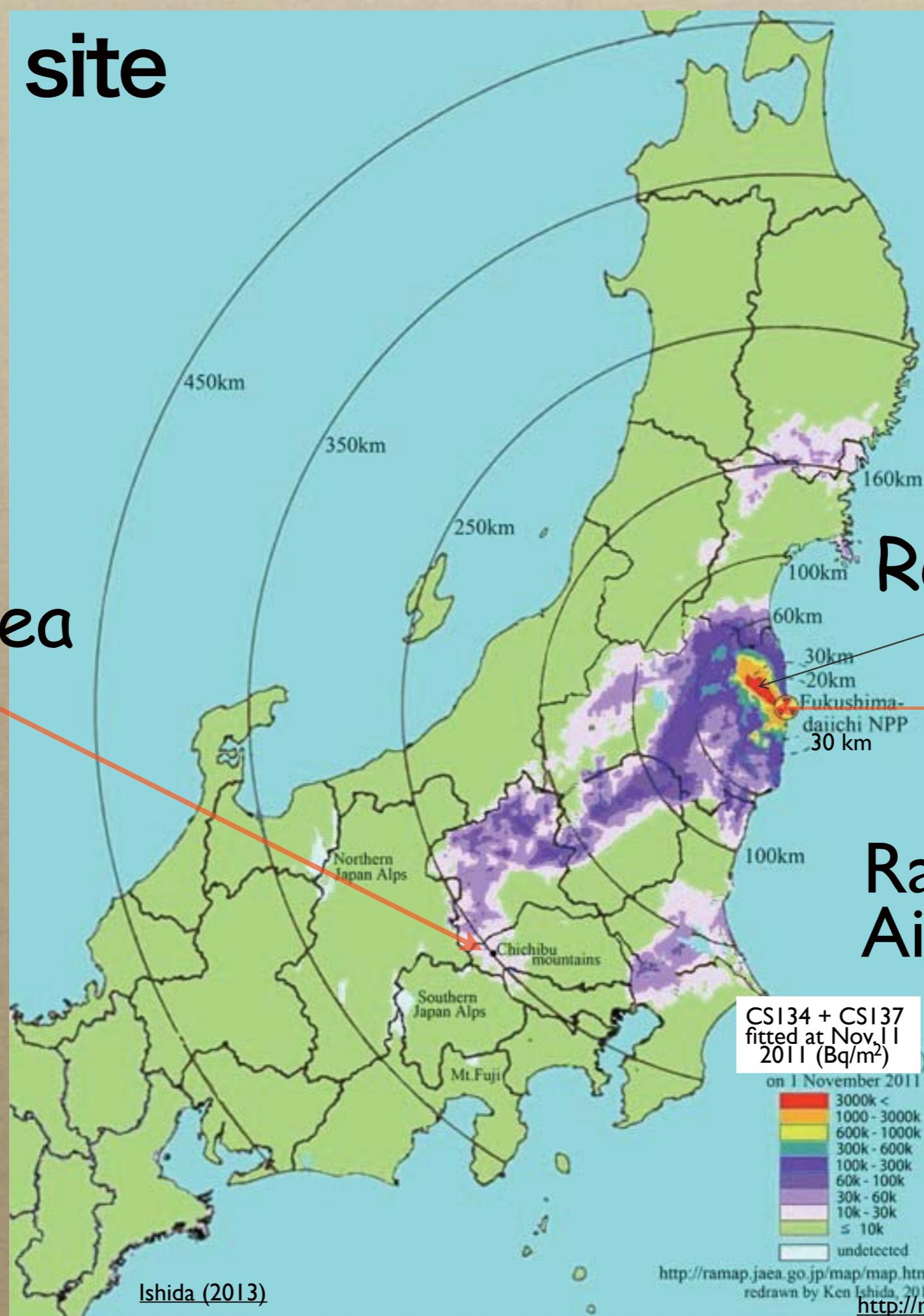
- 自己紹介
- 生態学の概念と放射能汚染の生態影響
- チェルノブイリ原発事故後の野生生物
- 福島第一原発事故後の野生生物事例
- 福島第一原発事故、「高線量地帯」での
石田の研究事例
 - ウグイスの羽毛汚染
- 放射線の確率的作用と生態影響

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

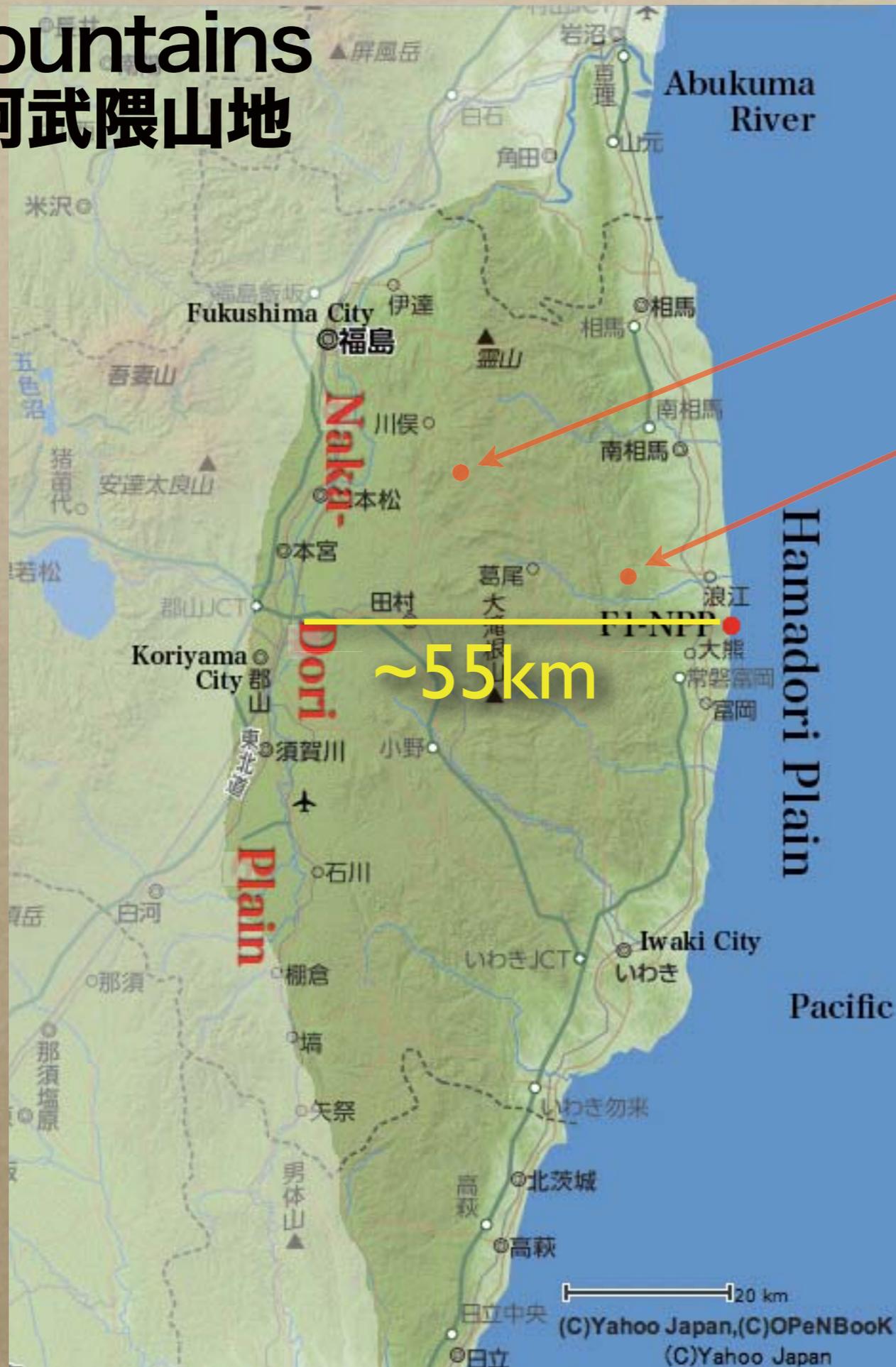
by MEXT Japan
November 25, 2011

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)

“Nakadori” plain

高原、緩傾斜、残丘陵群

gentle slopes, mixed landscape

急傾斜

steep slope
small valleys

“Hamadori” plain

高原
high-land



阿武隈川

Profile of
Abukuma
Mountains

FI NPP
太平洋

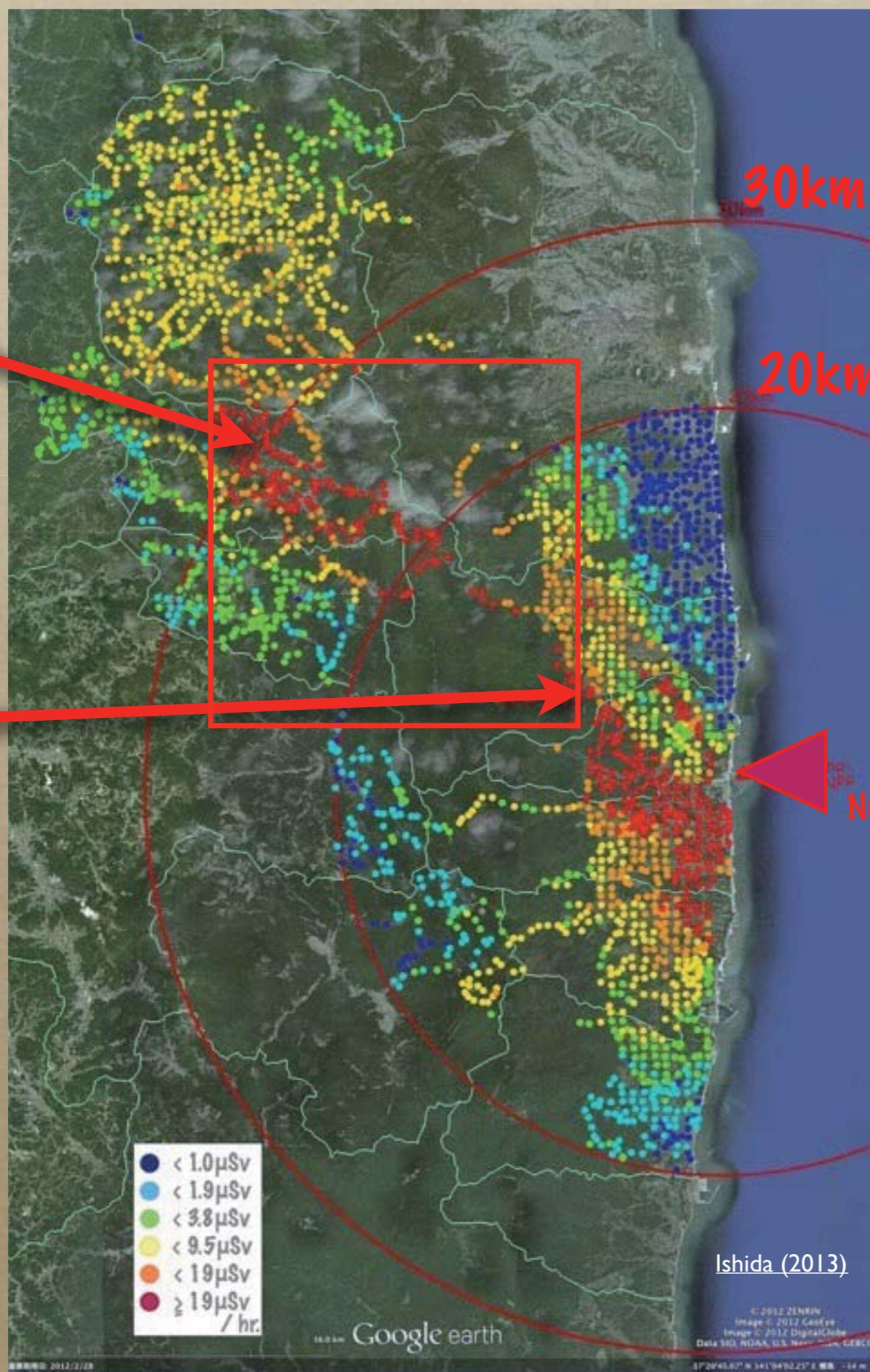
調査地点
area

浪江町赤宇木
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

Fukushimadaiichi
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

Ishida (2013)

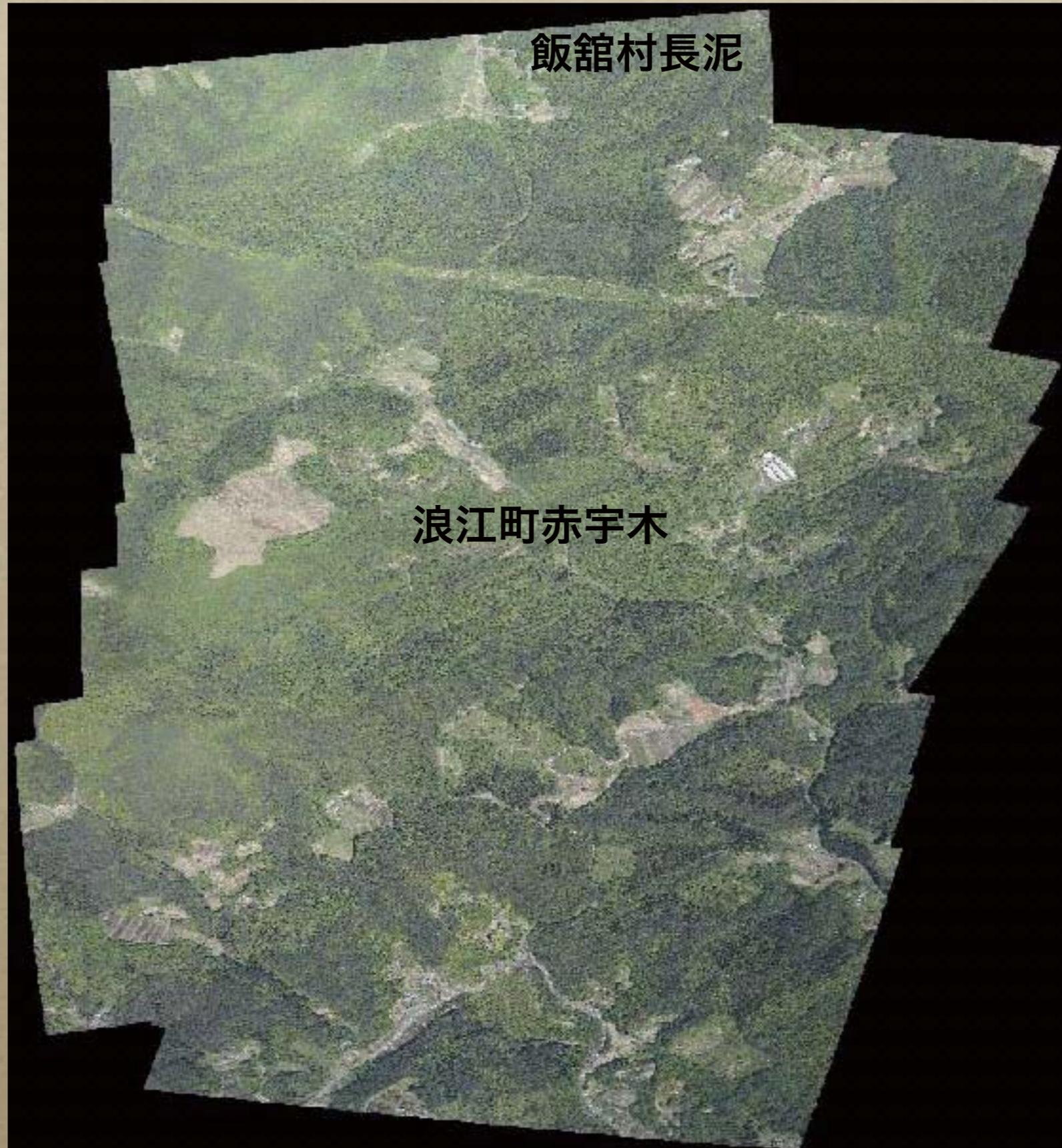
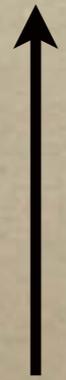
Google earth

© 2012 ZENRIN
Image © 2012 GeoEye
Image © 2012 DigitalGlobe
Data SIO, NOAA, U.S. Navy, GEBCO

浪江町赤宇木谷周辺の景観

主に樹林、水流

北



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

樹林・農地の混在、水流

北 ←



川俣町山木屋

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?



Illustrated by R. Sugita

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巣している

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

● 越冬

● 分散

● 換羽

8月
August



渡来 arrival
mid March
3月中旬

阿武隈高地の場合
長期自動録音で確認

営巣

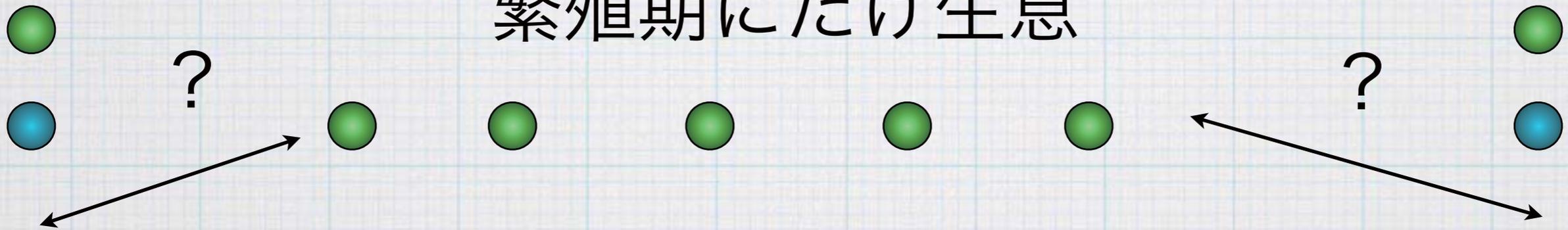
● 繁殖 オスはずっとさえずる

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 Akauji, Namie, Fukushima

2011.8.11 Akauji, 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

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

captured in July & August, 2012



7・8月の捕獲個体・換羽前

2013年
16個体捕獲

captured in July & August, 2013

Omaru



Hiruzone



H



B



6・7・8月の捕獲個体・換羽前

2014年
12個体捕獲

captured in July & August, 2014



7・8月の捕獲個体・換羽前

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。

All were normal in 2012 ~ 2014 (n = 27)
2 of 6 in July, and 2 of 6 in August ; 3 of 5 totally were abnormal

2015

black head skin, bare



July and August



sequential observation of individuals in the wild (ecological)

2016

4 of 5 in July, and 5 of 6 in August ; 6 of 8 totally were abnormal
all the 6 males, 1 normal female

black head skin, bare

Tsushima

Akaugi

* , 1 in low does area was also abnormal

July and August

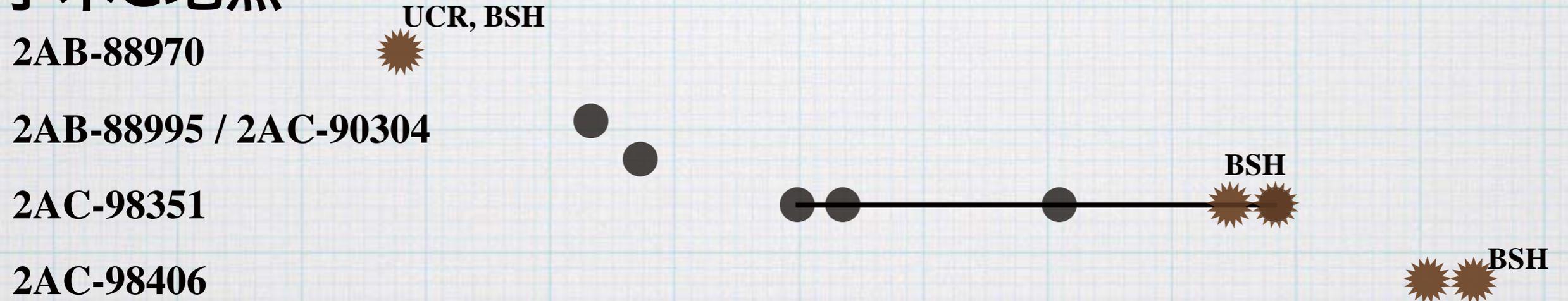


** , sequential observation of individuals in the wild (ecological)

7～8月に捕獲したウグイス个体（部分）

2011 2012 2013 2014 2015 2016

赤字木C地点



赤字木G2地点



赤字木J地点



大高倉



All were normal in 2012 ~ 2014 (n = 27)

2 of 6 in July, and 2 of 6 in August ; 3 of 5 totally were abnormal

2015

black head skin, bare



July and August



sequential observation of individuals in the wild (ecological)

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

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

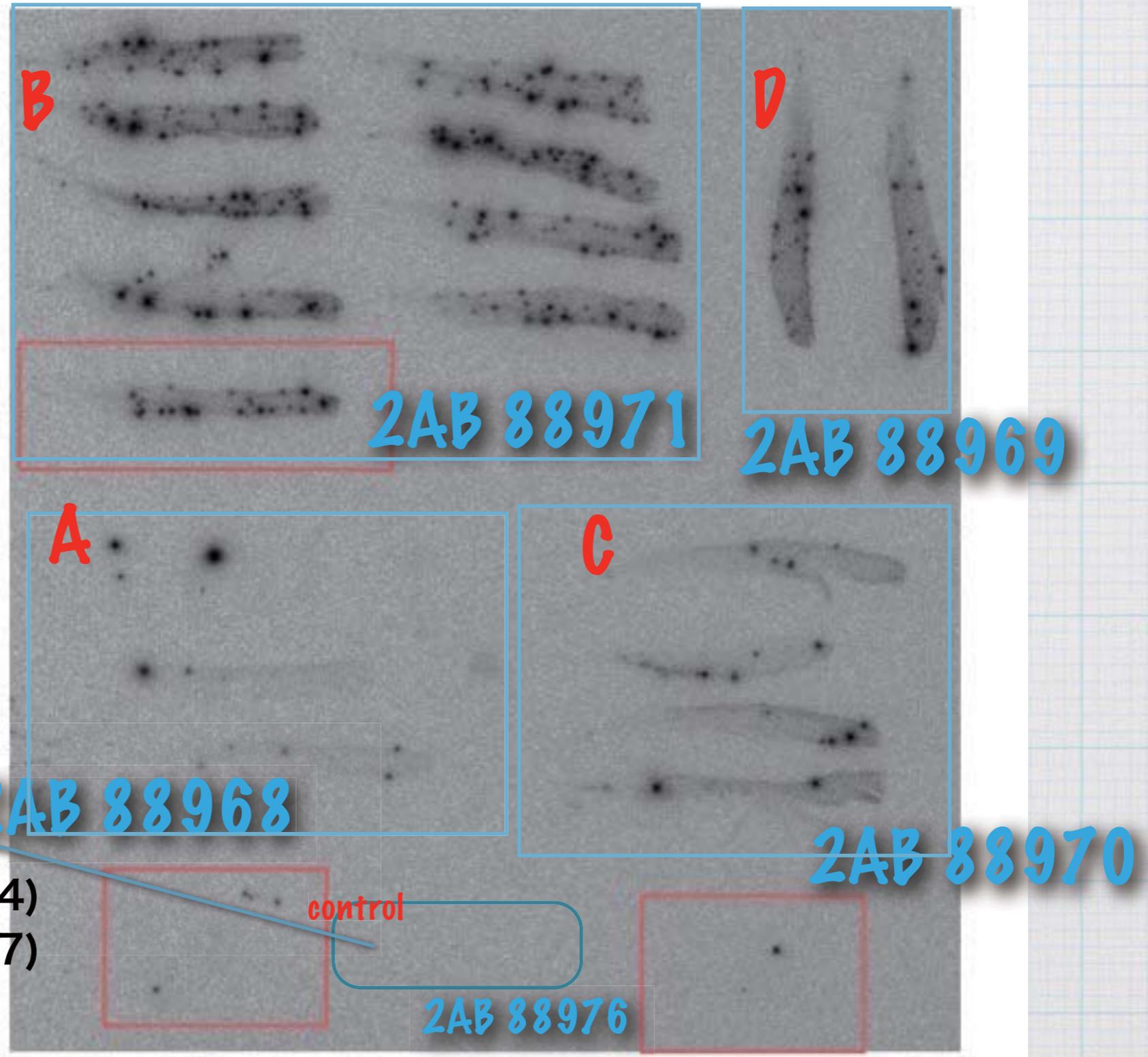
...効果なし!

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



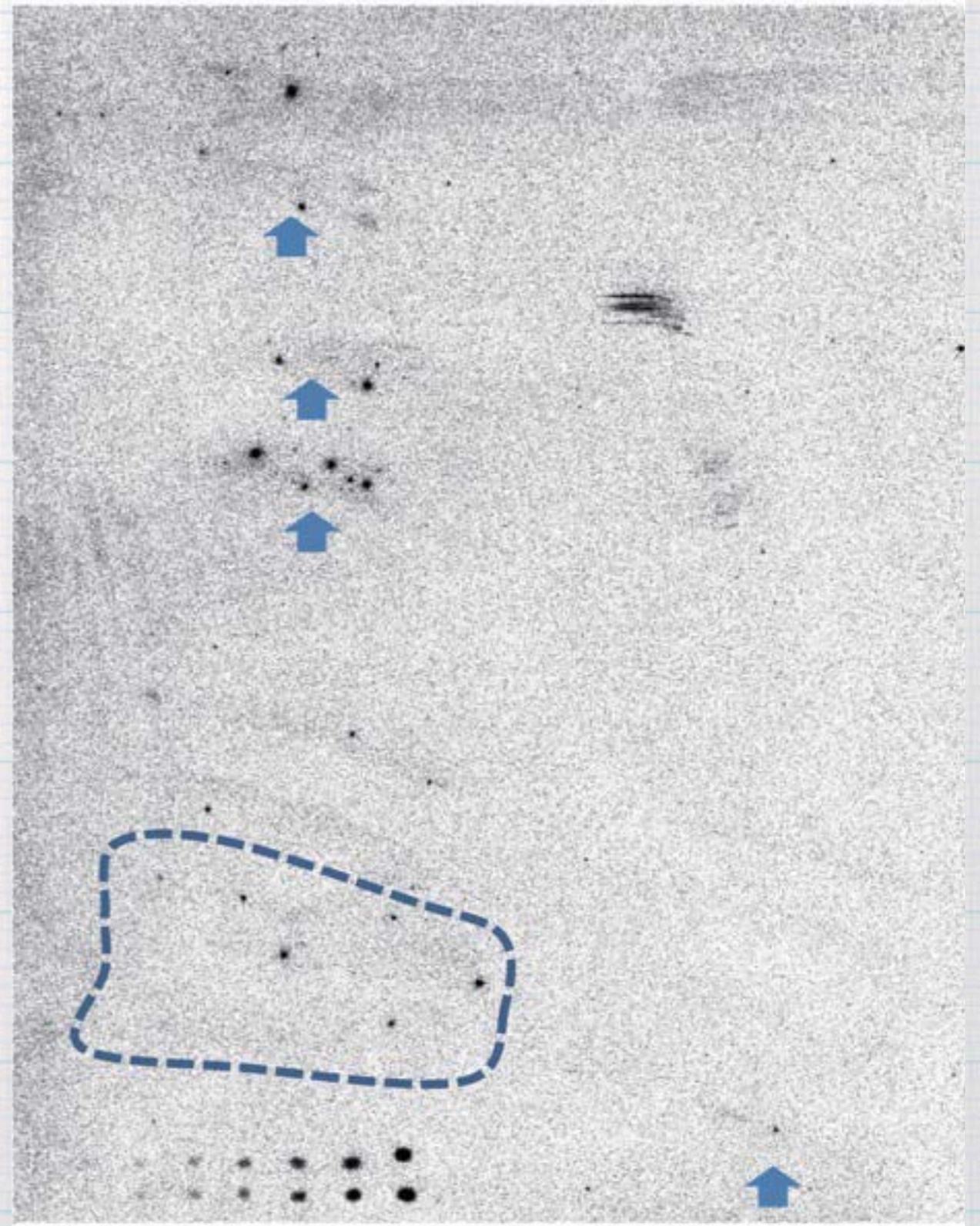
田野井慶太郎氏検査結果 (東京大学RI施設)

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

5-day exposure

2012年の羽根

少し長く



小林奈通子氏検査結果 (東京大学RI施設)

7-day exposure

2013年の羽根

小林奈通子氏検査結果（東京大学RI施設）

もう少し長く

2011年の羽根(2AB88970)

2012年の羽根(2AC98309)

(2AC98367a)/ 2013

↓ 2013年の羽根

(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

現地で生かしたままホールボディカウントも可能ではあった（精度は低い）

2013-05 /07 小国の森林で Cs137 : ウグイス筋肉 670, 850 Bq/kg, ヤブサメ筋肉 ~6,000 Bq/kg, (村上ら 2014)

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、羽嚢は短期間に発生、以後死細胞

∴ 内部からの汚染はあってもわすか？
強く固着する、汚染の仕組みは未解明

羽嚢は真皮から発生、機構・遺伝子発現未解明

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

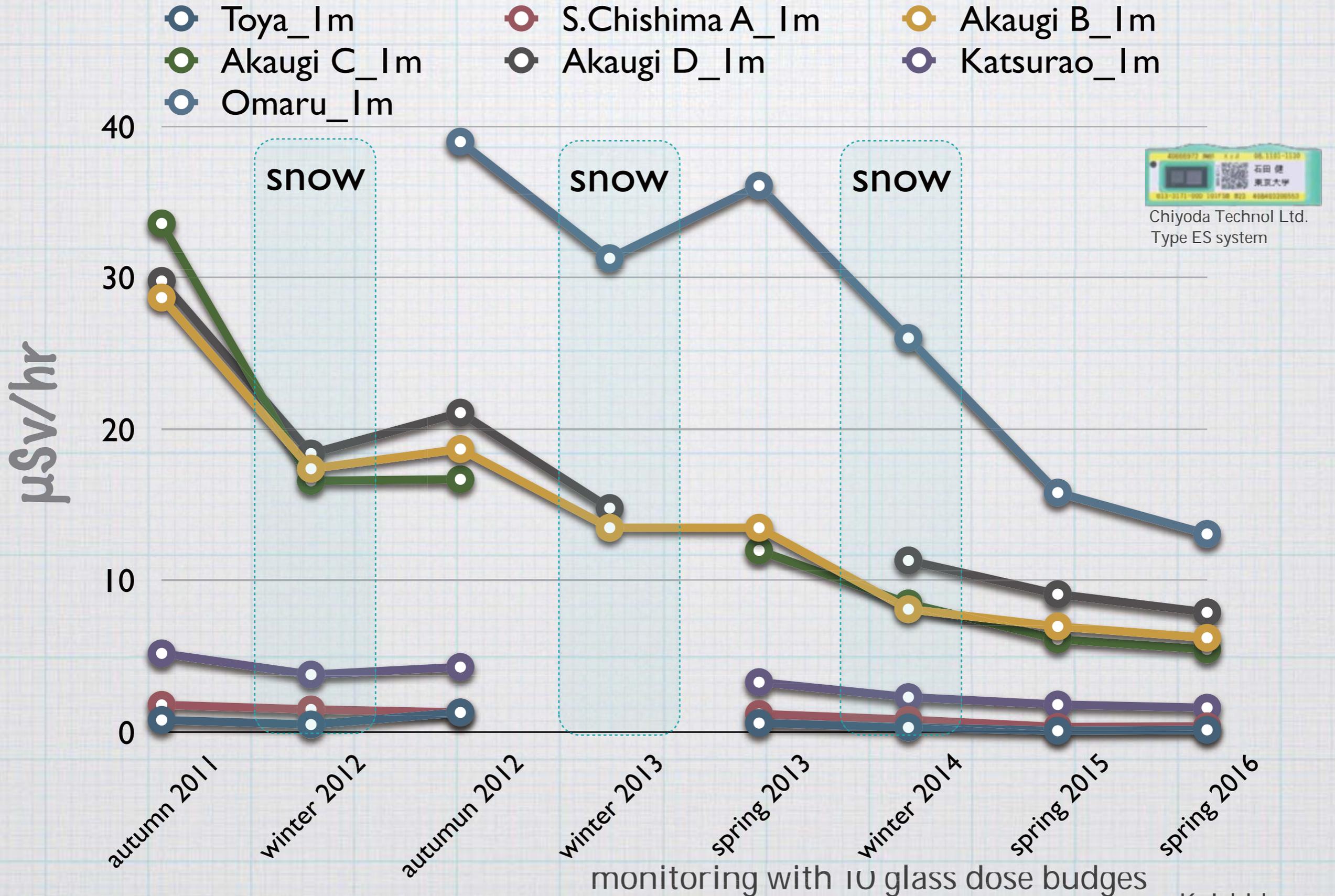
	健全	感染
赤字木'11	3	1
赤字木'12	—	—
N.S. 秩父	48	6

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

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

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

線量バッジ10個で計測した経過



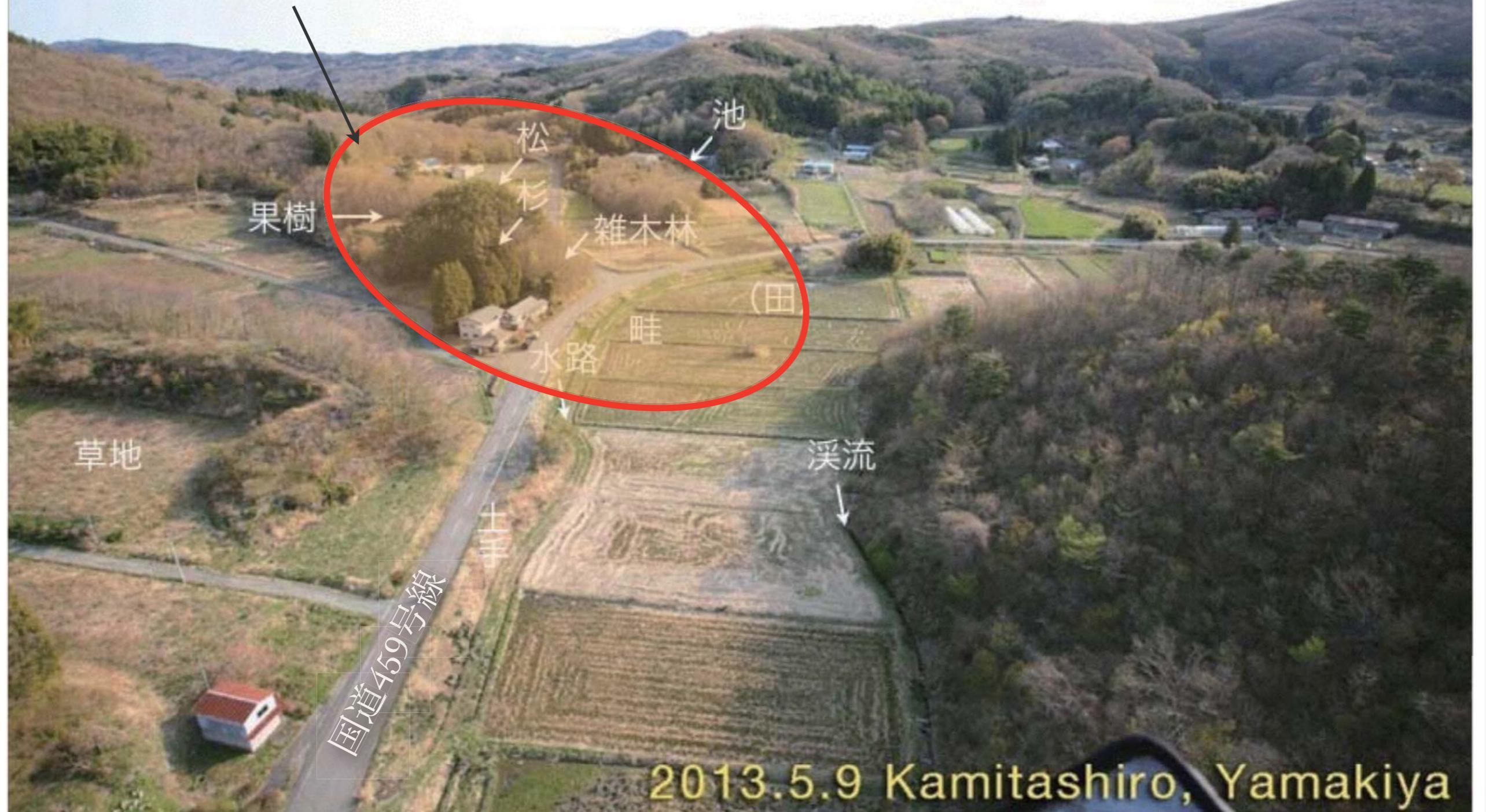
monitoring with 10 glass dose budges

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



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

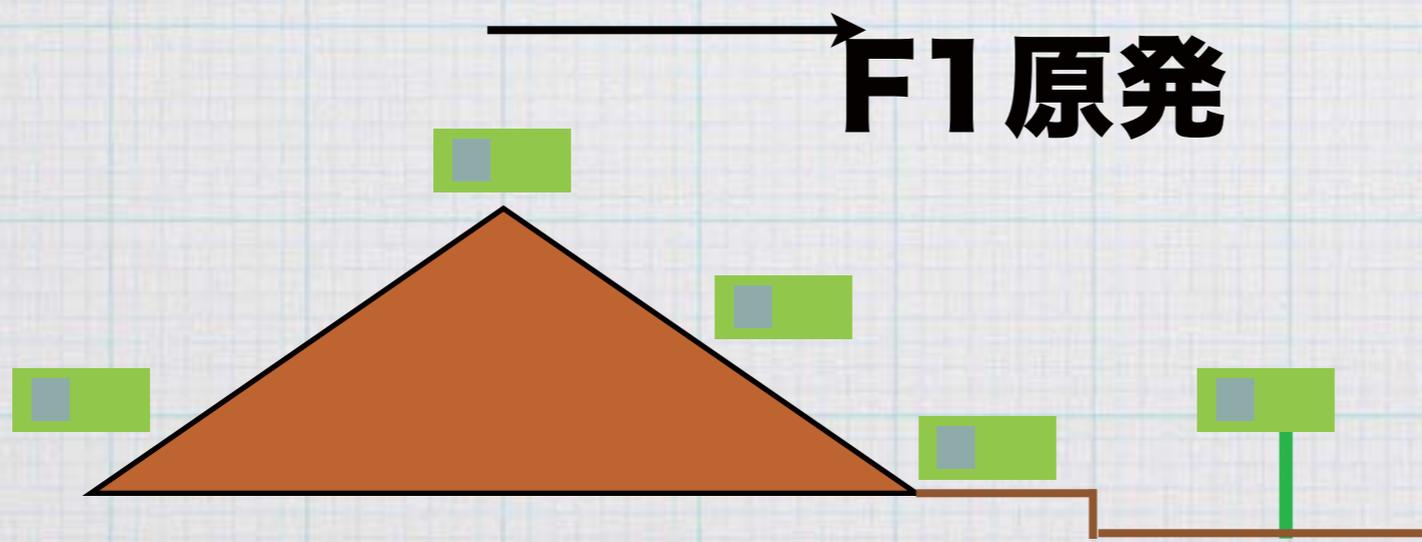
帰還困難区域

山木屋
上田代 30km

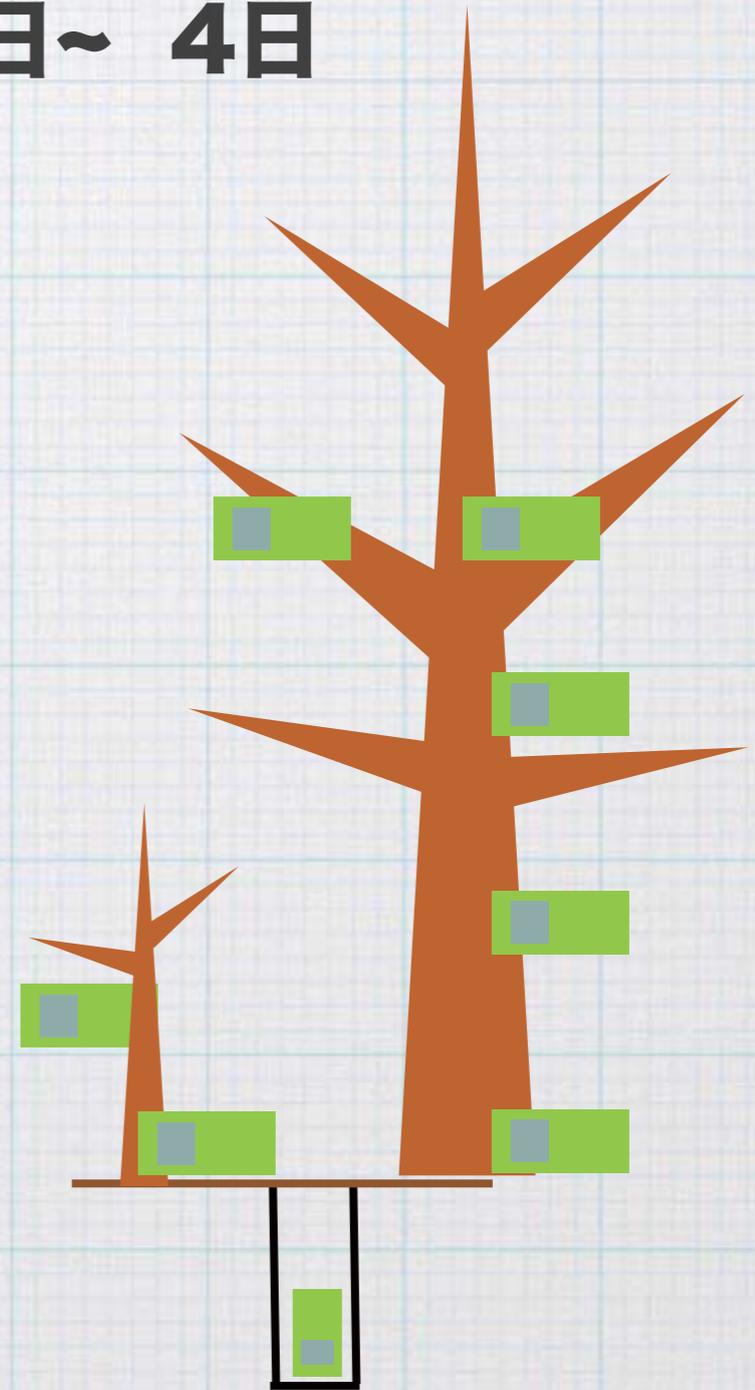
赤字木 30km
手七郎

山木屋
下田代 30km

小丸 10km



尾根上、斜面 表・陰



林内、農地 微環境

(小丸):放射性物質降下継続?

上田代

(下田代)

手七郎

$\mu\text{Sv/hr}$

$\mu\text{Sv/hr}$

6

30

4

20

2

10

0

0

10倍

5倍強



地中

地際

胸高

頭上

上空

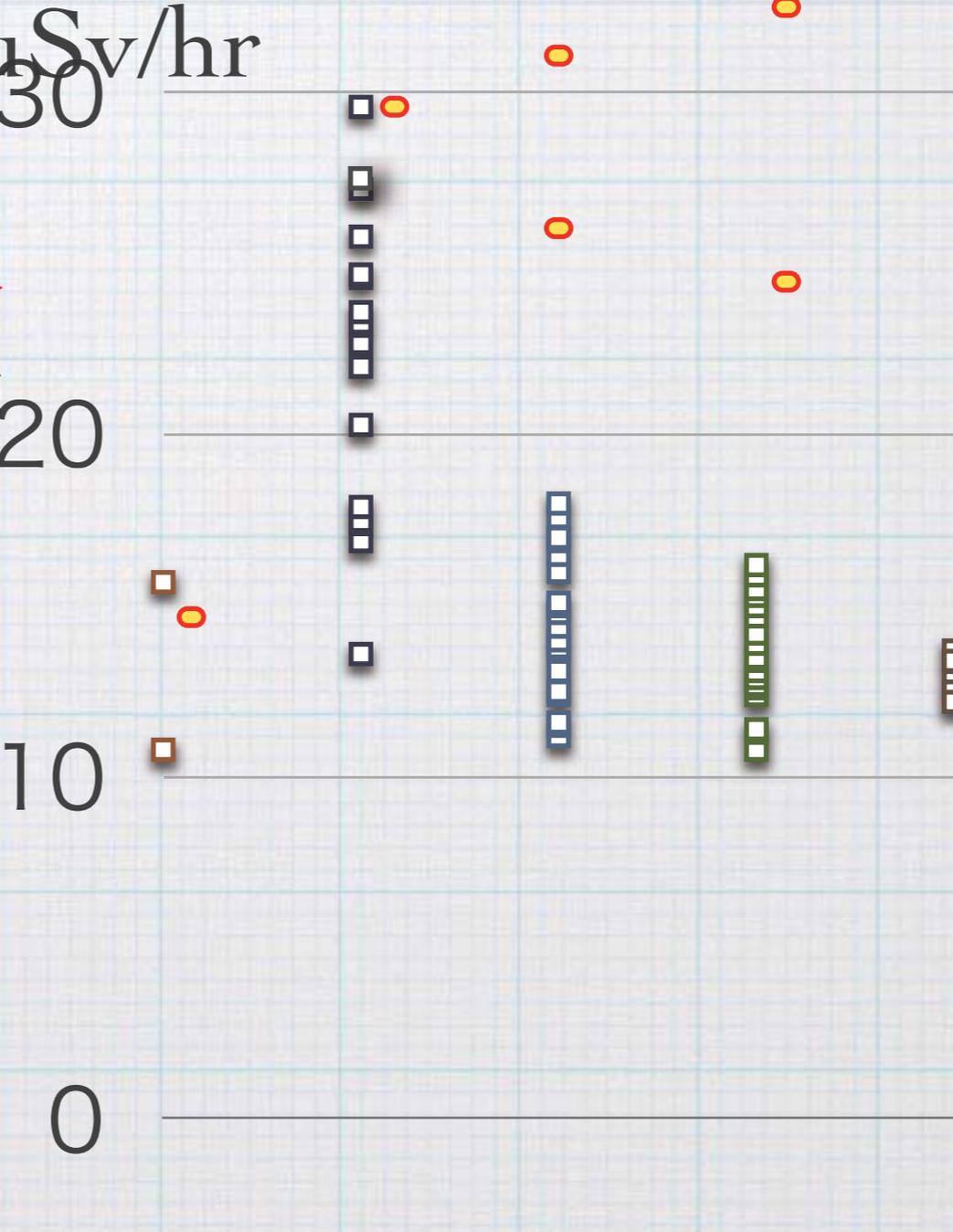
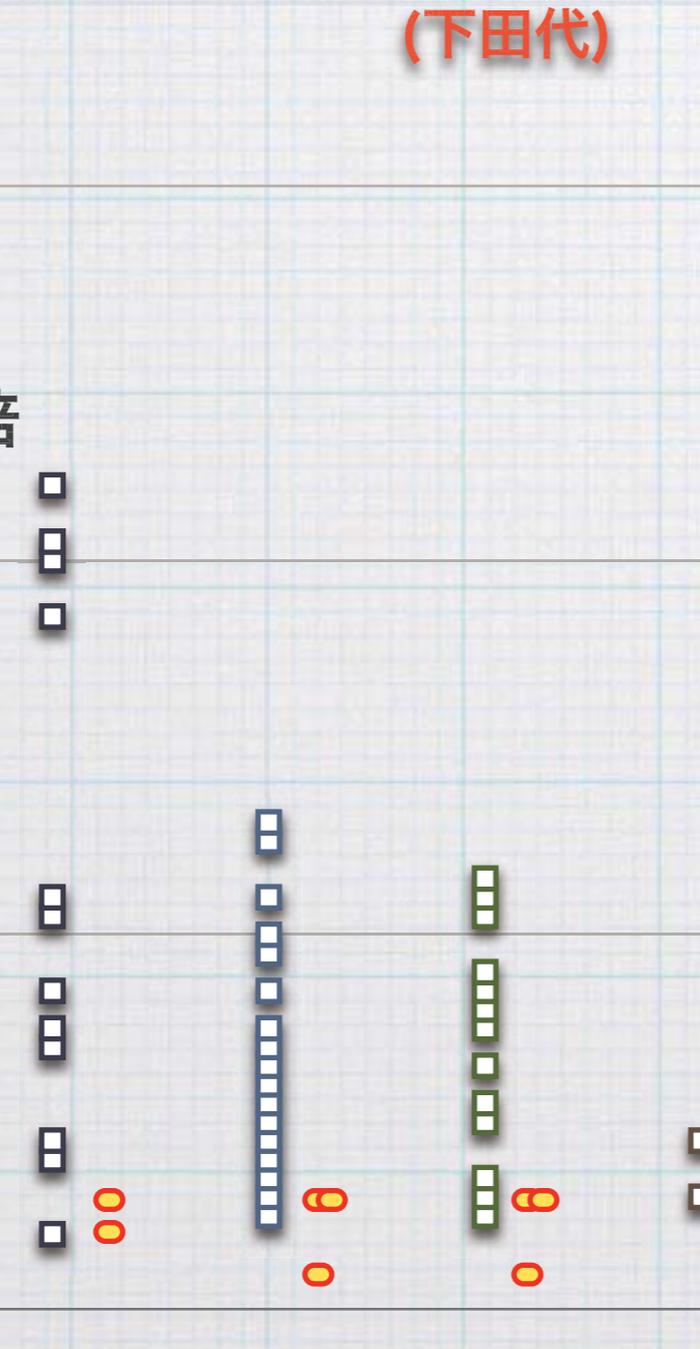
地中

地際

胸高

頭上

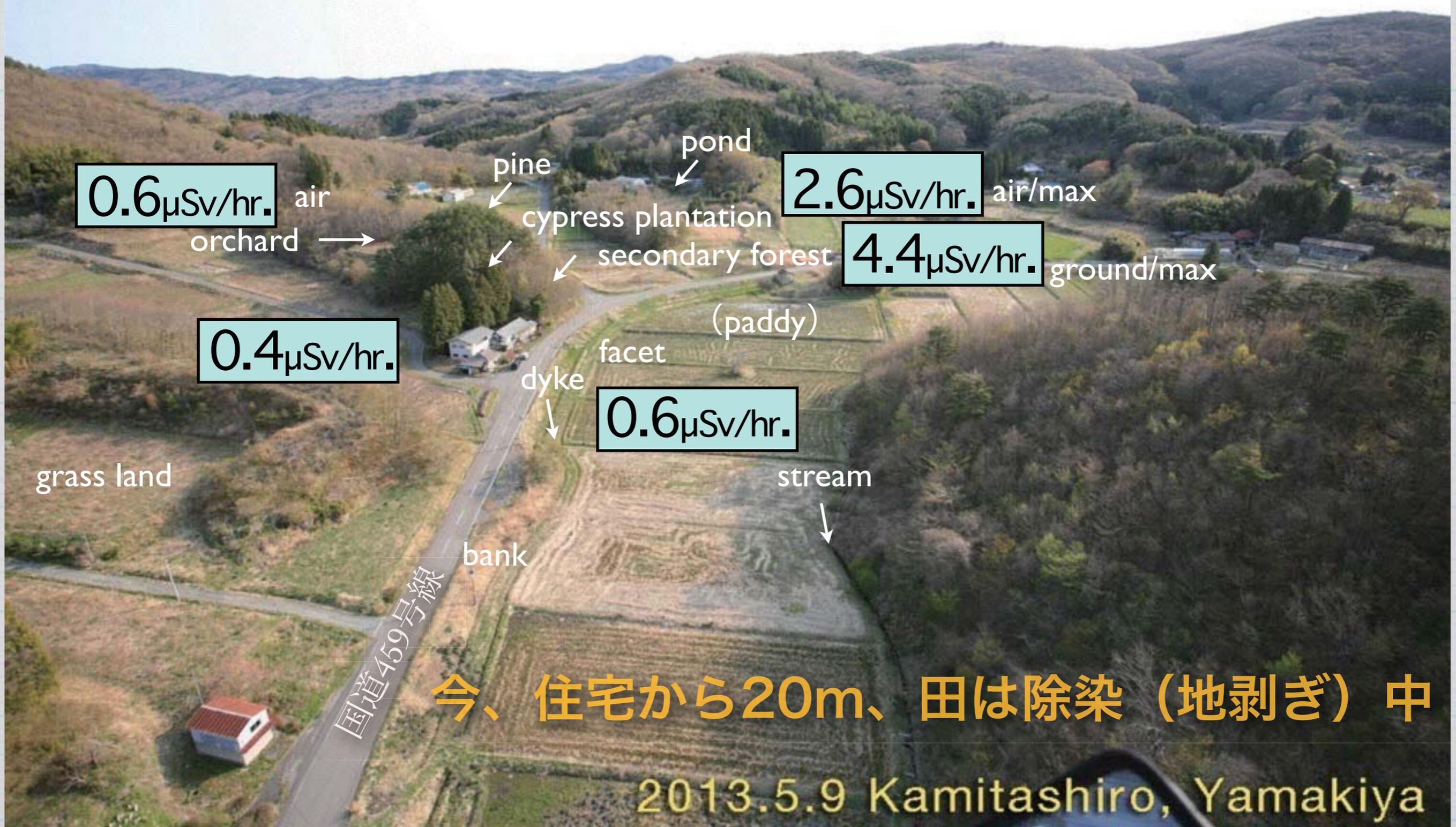
上空



北東



山木屋上田代



0.6 μ Sv/hr. air
orchard →

0.4 μ Sv/hr.

grass land

pine

pond

2.6 μ Sv/hr. air/max

cypress plantation
secondary forest

4.4 μ Sv/hr. ground/max

(paddy)

facet

0.6 μ Sv/hr.

dyke

stream

bank

国道459号線

今、住宅から20m、田は除染（地剥ぎ）中

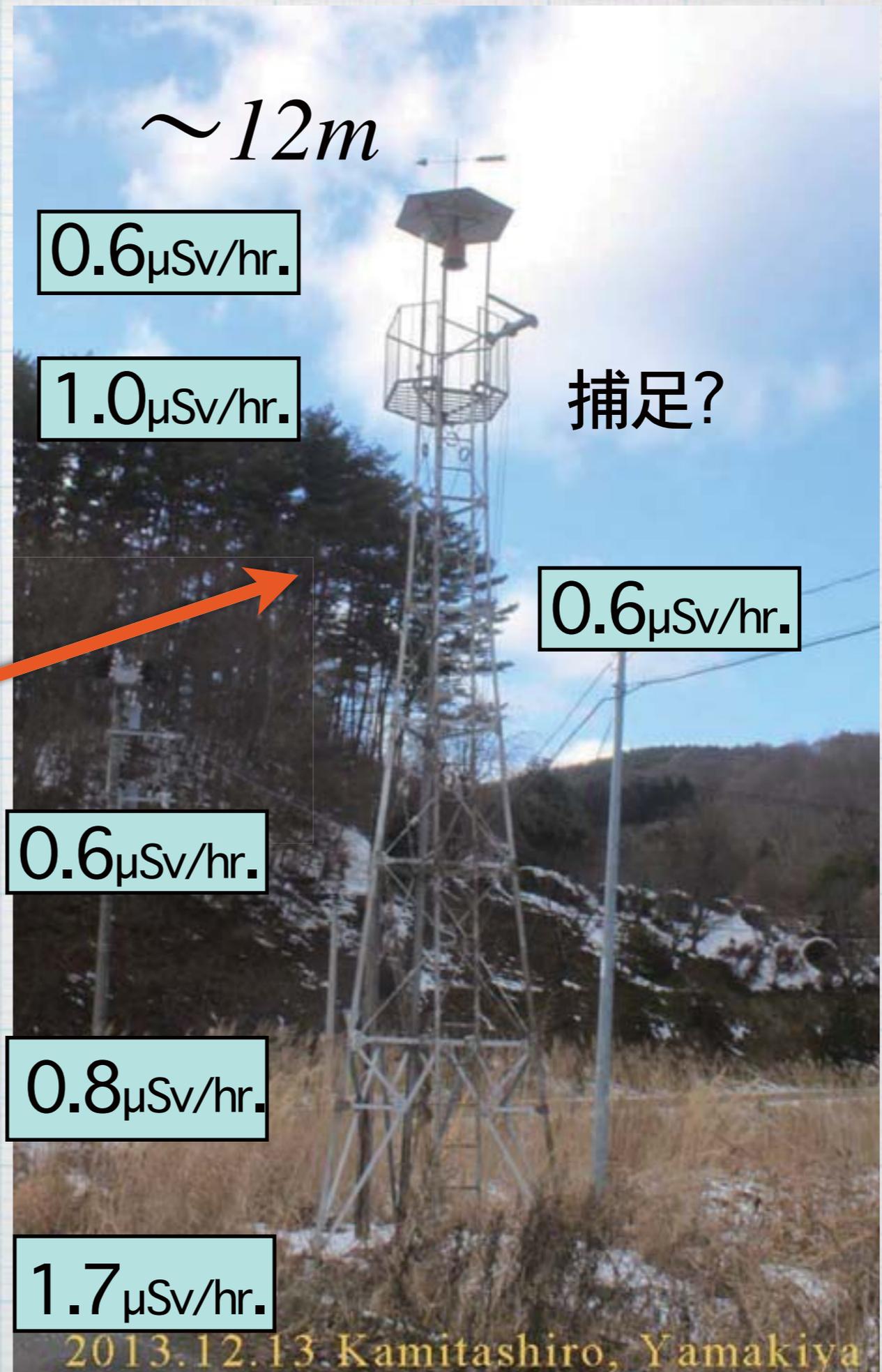
2013.5.9 Kamitashiro, Yamakiya

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 $\mu\text{Sv/hr.}$



赤宇木手七郎 $\sim 11m$

trunk (bark)

広葉樹の幹 (樹皮)

スギの幹 (樹皮)

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

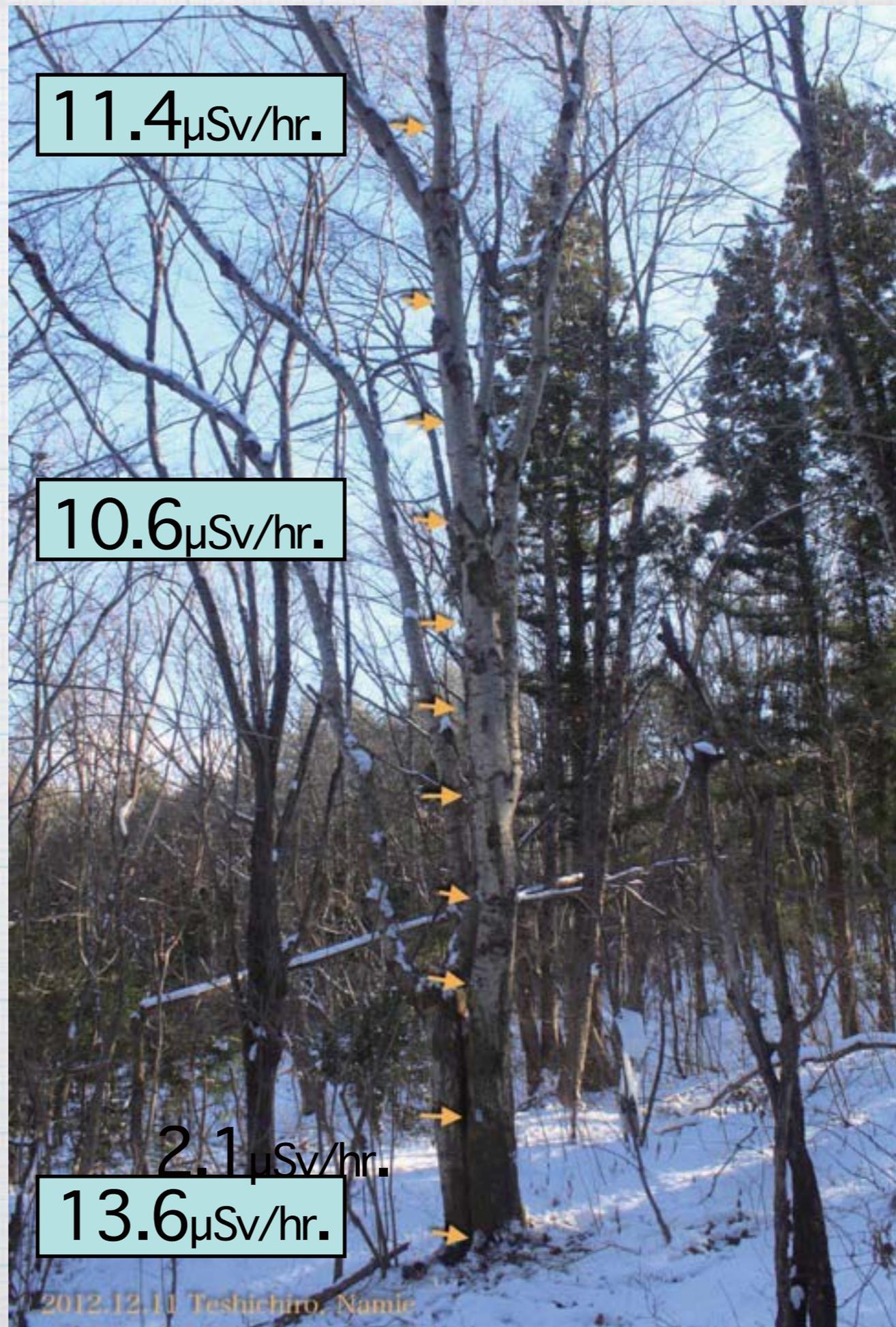
16.9 $\mu\text{Sv/hr.}$ @ $\sim 0m$

11.4 $\mu\text{Sv/hr.}$

10.6 $\mu\text{Sv/hr.}$

2.1 $\mu\text{Sv/hr.}$

13.6 $\mu\text{Sv/hr.}$



- **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**

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**

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

- 放射線の確率的作用と生態影響

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

確定的影響

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

確率的影響

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？

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分前に券売機で購入

Is water in the bottle ?

stochastic effect of radiation



放射線の確率的作用

ペットボトルに水が入っている？

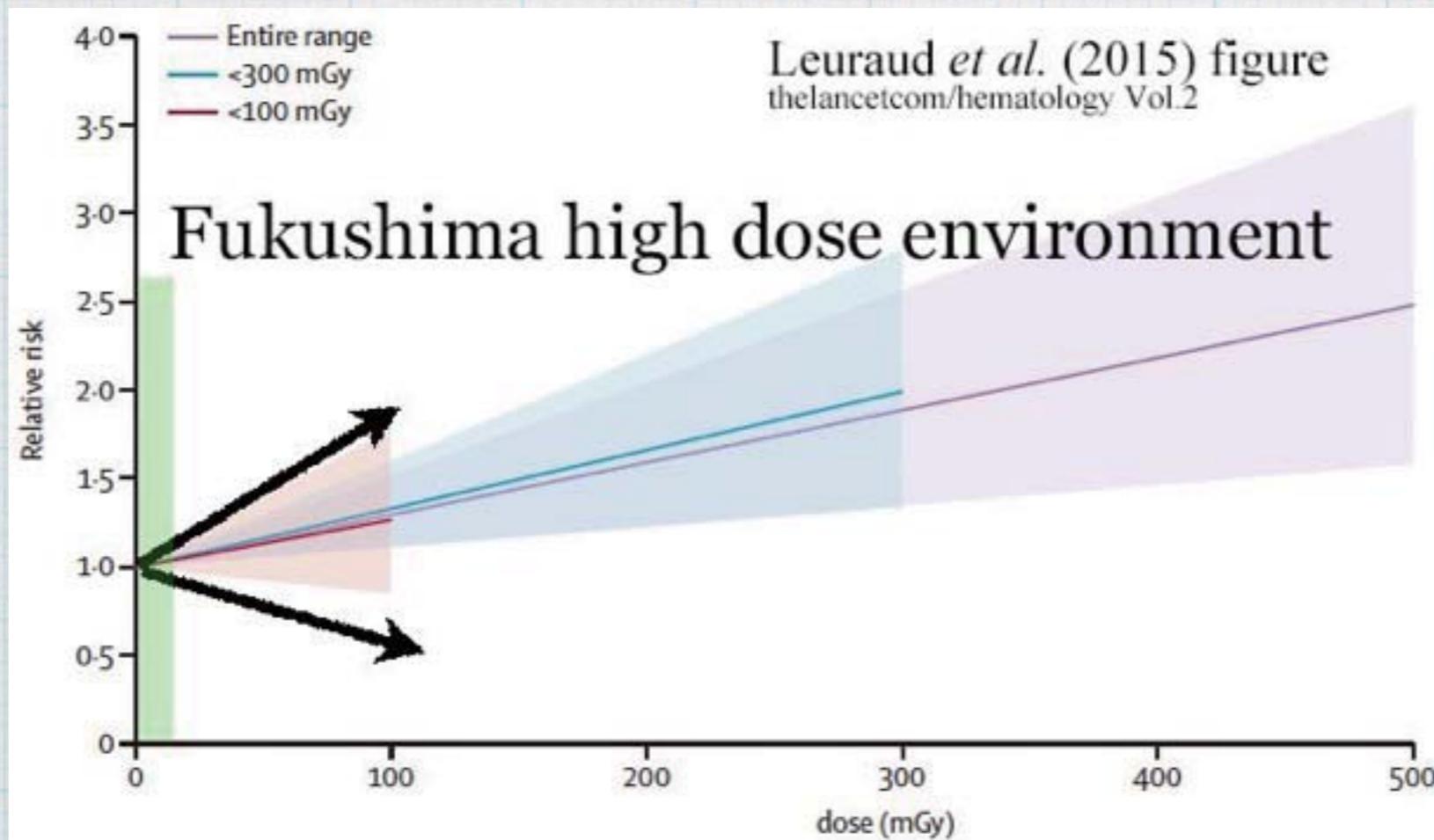
廣瀬さんの説明

7 / 63 : エネルギーは、光線の20~30万倍

8 / 63 : 物質中の通過する時に、電離反応を起こす

6 / 41 : DNA 損傷 → 修復 or 細胞死 **実効線量**

→ 集団（個体群）では、個体が入れ替わる



30万人の原発
従事者の統計値
白血病のリスク

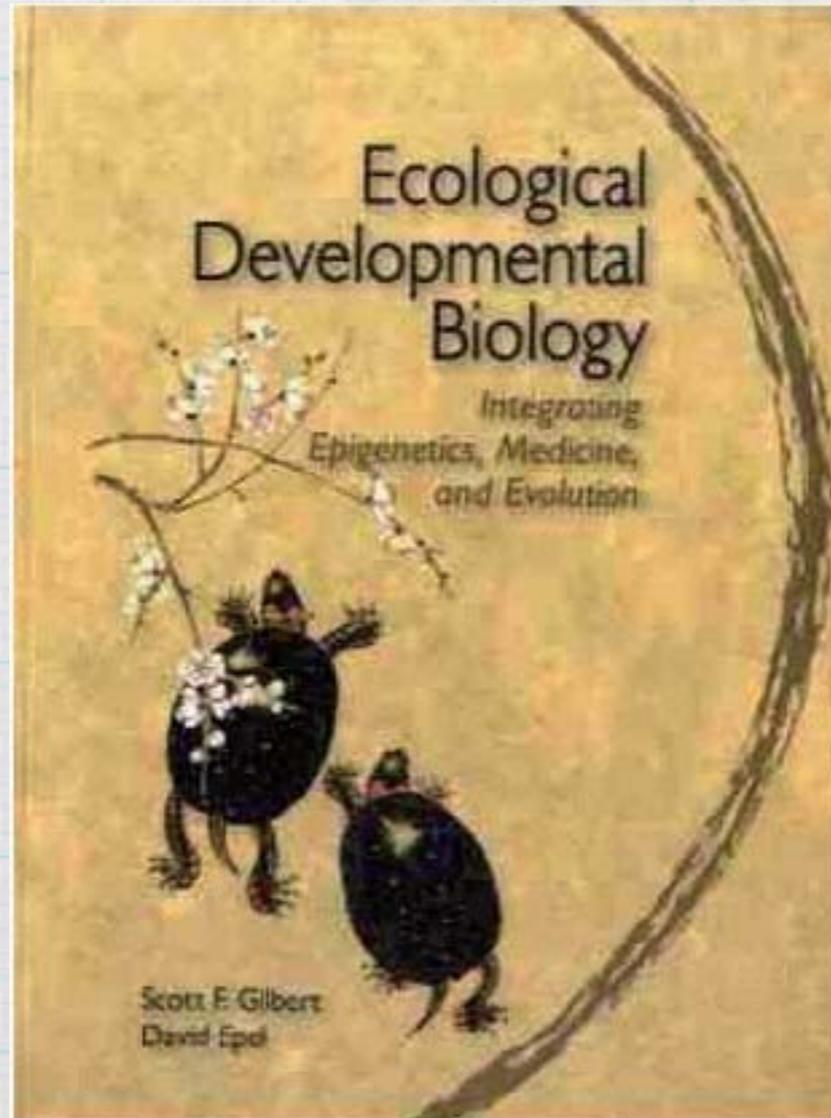
野生生物の自然の中でモニターする意義

現実の世界で何が起きているか、確認。

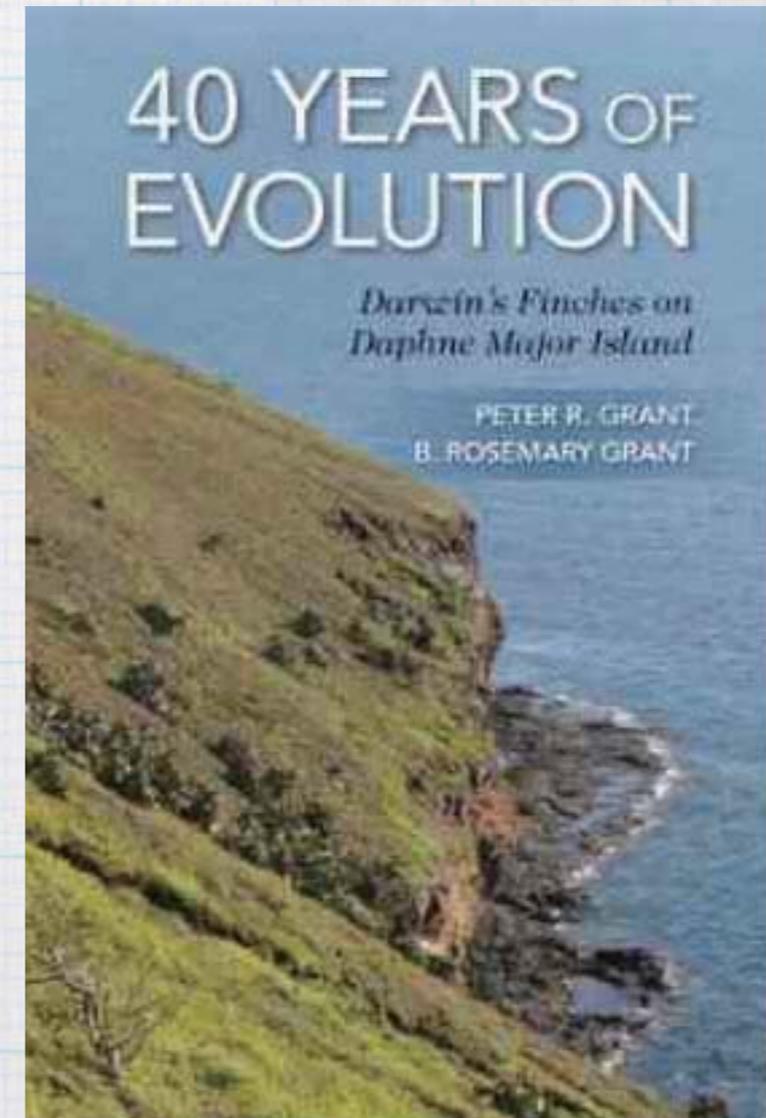
さまざまなストレスの共存化で、個体や集団
(地域個体群) に起こる確率的作用の結果
を直接に確認できるかもしれない。

実際に検知できるかは、確率的 (運次第) ?

もし・・・今日の話に興味を持てたら



2009年



2014年

と

一読を、おすすめします。

今日の課題

生態学における「攪乱」と「安定」の概念を使って、
原発事故で高い放射線被曝を受けた野鳥の
個体群が、どうなると予測するか書きなさい。
個体群にどんなことが観察されるかかもしれないと思うか自由に

ヒント: ペットボトルの水、水と空気の
どちらも実在、確率的作用と階層性

回答時間 14:30 ~ 14:45 頃
200 ~ 300 文字