

A



B



C



福島原子力発電所事故の ヤマトシジミへの生物学的影響

D



大瀧 丈二

琉球大学理学部生物系



G



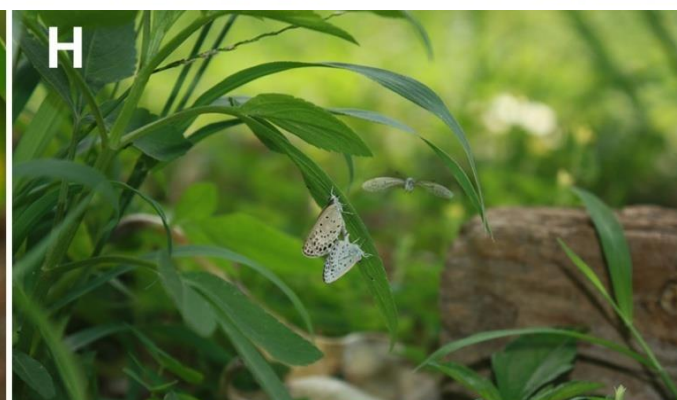
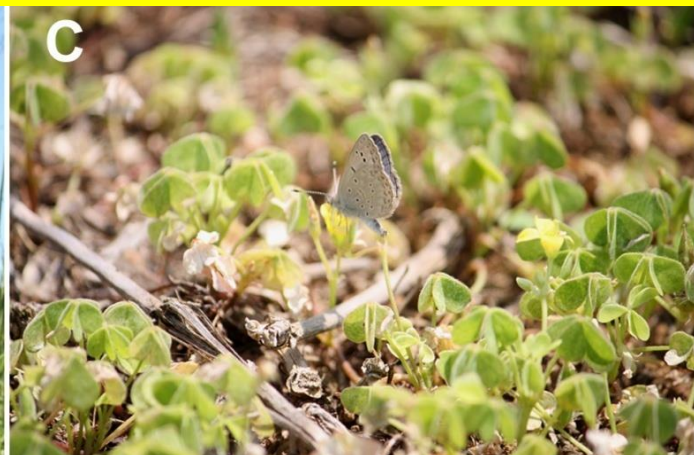
H



I



ヤマトシジミ(鱗翅目、シジミチョウ科)



なぜ、ヤマトシジミなのか？

色模様研究のモデル生物として適している

- ①色模様の判別がしやすい。
- ②小型である。
- ③サイクルが短い(約1ヶ月)。
- ④野外採集がしやすい。
- ⑤継代飼育方法を確立 (*Entomol. Sci.* **13**, 293-302, 2010)



ヤマトシジミ

環境指標生物として適している

- ①地面付近で生活している。
- ②人の生活空間と同じ。
- ③北海道以外の日本全国に広く分布。
- ④カタバミしか食べない。



カタバミ

福島原発事故(2011年3月11日)



われわれの実験系が使えるのではないか



SUBJECT AREAS:
ENVIRONMENTAL
SCIENCES
ECOLOGY
BIODIVERSITY

The biological impacts of the Fukushima nuclear accident on the pale grass blue butterfly

Atsuki Hiyama^{1*}, Chiyo Nohara^{1*}, Seira Kinjo¹, Wataru Taira¹, Sinichi Gima², Akira Tanahara²
& Joji M. Otaki¹

福島原子力発電所事故の ヤマトシジミへの生物学的影響

Published on 2012年8月9日

<論文・日本語要約版>

<http://www.natureasia.com/ja-jp/srep/abstracts/39035>

Nature (2012年ソーシャルネットワーク・世界ランキングNo. 1)

<http://blogs.nature.com/news/2012/12/what-were-the-top-papers-of-2012-on-social-media.html>

ドイツ公共放送(日本語訳付)

<http://kingo999.blog.fc2.com/blog-entry-914.html>

「ヤマトシジミにおける福島原発事故の生物学的影響」

シュピーゲル(ドイツ)

<http://www.spiegel.de/wissenschaft/natur/fukushima-strahlung-fuehrt-schmetterlingen-zu-mutationen-a-849972.html>

BBC(イギリス)

<http://www.bbc.co.uk/news/science-environment-19245818>

ルモンド紙(フランス)

http://www.lemonde.fr/planete/article/2012/08/15/des-papillons-mutants-autour-de-fukushima_1746252_3244.html

ルモンド紙(和訳)

http://besobernow-yuima.blogspot.jp/2012/08/blog-post_18.html

ABC(米)

<http://www.abc.net.au/news/2012-08-13/fukushima-mutant-butterflies/4194240>

CNN(米)

<http://www.youtube.com/watch?v=1yVNn0tlz5k>

FOX TV(米)

<http://video.foxnews.com/v/1786844712001/mutant-butterflies-reportedly-caused-by-japan-nuke-disaster>

その他、多数

<琉球大学での紹介頁>

<http://www.u-ryukyu.ac.jp/info/yamatoshizimi2012081501/>

海外各国で大きな反響！

6 | PLANÈTE

Le Monde
jeudi 16 août 2012

Des papillons mutants autour de Fukushima

De multiples malformations, dont le taux s'accroît à chaque génération, semblent imputables à l'accident nucléaire

Tokyo
Correspondant

À l'arrogance, courbées ou en surnombre. Antennes difformes. Yeux bosselés. Couleur altérée. Ecdyses avortées. Infertilité... C'est un très inquiétant tableau clinique de papillons de la région de Fukushima que dessinent, dans une étude publiée dans *Scientific Reports*, journal en ligne diffusé par l'éditeur de la revue *Nature*, des chercheurs japonais de l'université des Ryukyus (Okinawa).

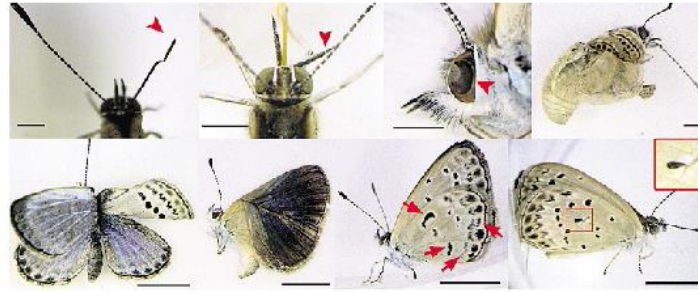
Ceux-ci ont collecté en mai 2011 (deux mois après la catastrophe de la centrale nucléaire de Fukushima) 144 petits papillons bleus appartenant à la famille des Lycaenidae, de l'espèce *Zizeeria maha*. Les prélèvements ont été effectués dans une

Des malformations – certaines pointées par des flèches rouges – touchent les papillons.

JOURNAL D'ANTHROPOMÉTRIE, SCIENTIFIC REPORTS

ges physiologiques et génétiques aux insectes.

« Les effets biologiques des radiations sur les organismes vivants pourraient entraîner des transformations de l'écosystème et causer des maladies chroniques », précise l'étude. Le cas du papillon bleu pour être un indice. On trouve en effet cette espèce à travers tout l'Archipel – en japonais il porte d'ailleurs le nom de *Yamato shijimi*, soit « papillon du Yamato », Yamato étant le nom du premier royaume japonais –, ce qui permet des comparaisons. En outre, la couleur de ses ailes est très sensible aux changements de l'environne-



日本では反響は少なかった。
そればかりではなく、科学的な内容とは関係のない文句が多かった。

des yeux et des antennes leur servant à explorer leur environnement. Ils ont ensuite élevé ces insectes en laboratoire à des fins de recherche sur la mutation.

ils étaient 33,5 %
droits au Japon et de ceux provenant de la région de Fukushima.

ment aussi qu'à l'exposition directe aux radiations relâchées par la centrale sinistrée, s'est ajoutée la contamination par l'ingestion de feuilles.

papillons de Fukushima ont été affectés. Mais il faut étendre notre recherche à d'autres espèces. Le chercheur envisage donc de poursuivre ses investigations sur

« ces anomalies morphologiques ne peuvent s'expliquer que par l'exposition aux radiations ». Pour l'instant, personne n'est officiellement déclaré en proie

80 000 habitants de la région qui ont été évacués, ainsi que les ouvriers qui interviennent sur le site de la centrale accidentée.

そのような中で、正当な科学的議論もみられた。『昆虫と自然』の特集記事、生態学会など

à Fukushima, Fukushima, les zones les plus contaminées. C'est ce qu'on observe nos collègues japonais sur les papillons : les deuxième et troisième générations montrent un effet plus important que la première.

Les auteurs en concluent que la radioactivité libérée par la centrale sinistrée a causé des domma-

pe de la biodiversité a réalisé une expérience-test sur des papillons provenant d'autres régions (et donc sans risque d'avoir été irradiés), qu'ils ont exposés en laboratoire à de faibles doses de radioactivité. Ils ont constaté que les insectes présen-

te des déformations que j'ai observées dans le passé étaient de nature différente de celles présentes sur les papillons provenant de Fukushima, explique-t-il. En science, on ne peut jamais se fier à cent pour cent, mais je n'avais jamais obser-

Questions à Timothy Mousseau, biologiste à l'université de Caroline du Sud

Timothy Mousseau a réalisé Anders Pape Møller, de l'université Paris-Sud, plusieurs études sur l'état de la biodiversité dans la zone d'exclusion de Tchernobyl. Qu'avez-vous appris sur la faune qui vit dans les territoires contaminés autour du réacteur ukrainien accidenté en 1986 ?

Les résultats sont sans ambiguïté : il existe une très forte relation négative entre le niveau de radioactivité et l'état de la biodiversité des groupes d'organismes que nous avons étudiés – plusieurs espèces d'oiseaux, des insectes (libellules, bourdons, sauterelles) et des araignées. Tant en nombre d'individus qu'en termes de santé, les populations sont en plus mauvais état que dans les zones non contaminées. Les causes en sont génétiques, mais les relations au sein de l'écosystème sont aussi en jeu. Les arbres fruitiers à Tchernobyl ont ainsi regagné de manière significative du fait du déclin des insectes pollinisateurs.

La radioactivité a pourtant décliné en vingt ans... Oui, mais l'accumulation des

vié entraîne des effets génétiques plus grands sur les générations récentes. C'est ce qu'on observe nos collègues japonais sur les papillons : les deuxième et troisième générations montrent un effet plus important que la première.

Il semble résulter d'une combinaison de plusieurs facteurs. Des oiseaux qui se nourrissent des insectes sur le sol, où la radioactivité est la plus forte, sont plus affectés que d'autres oiseaux. On a aussi observé que les oiseaux qui ont les taux de mutation les plus élevés, quelle qu'en soit la raison, sont aussi les plus vulnérables à la contamination. On constate encore que les espèces qui migrent à longue distance et qui se reproduisent au printemps sont plus affectées que les espèces sédentaires.

Toutes les espèces ne sont pas affectées, mais beaucoup le sont. Certaines voient même leur effec-

Fukushima, où nous avons travaillé l'année dernière, nous avons été très surpris de constater que le nombre des araignées augmentait fortement dans les zones les plus contaminées.

Qu'en est-il pour les plantes autour de Tchernobyl ? Il y a peu d'études sur ce sujet, mais elles montrent une augmentation des taux de mutation génétique. Et la biodiversité des plantes est beaucoup plus basse dans les zones contaminées qu'ailleurs.

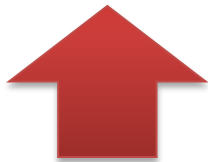
Quel est le défi à observer sur le terrain entre Fukushima et Tchernobyl ? A Tchernobyl, il n'y a presque pas eu d'études sur l'évolution des animaux dans les premiers mois après l'accident, et pas de très bonne qualité. Au contraire, au Japon, les chercheurs ont commencé à travailler beaucoup plus tôt. A Tchernobyl, on observe un déclin majeur sur la plupart des groupes d'organismes, alors qu'à Fukushima on commence juste à en observer sur des oiseaux et des papillons.



Un des papillons mutants observés par les chercheurs de l'université de Ryukyu.

本研究の重要ポイント(他の研究にはない点)

- 原発事故初期からのモニタリング
- 原発事故の影響のない環境(沖縄)における評価
- F1・F2の飼育実験による次世代への影響評価
- 外部被曝・**内部被曝**による再現



低線量で効果があるというのは非常に疑わしい。「昆虫はそもそも高線量に強いはず」?

今回の研究は「長期低線量被曝」であり、これまでの「短期高線量被曝」とは条件が異なる(直接的な比較はできない)

これまでに行った研究内容

1. 福島地方でのサンプリング【2011年5月】 第1化
(野外1世代目)→ F1・F2の飼育(沖縄にて、子どもへの影響をみた)
2. 福島地方でのサンプリング【2011年9月】 第4化
(野外4世代目)→ F1の飼育(沖縄にて)
3. 外部照射(^{137}Cs)による再現実験: 沖縄個体に照射
4. 内部被曝(汚染食草)による再現実験: 福島地方からカタバミを採集→ 沖縄個体に食べさせる <重要>

サンプリング地点(5月)



東京

筑波・水戸・高萩

(茨城県)

いわき・広野・郡山・

本宮・福島(福島県)

白石(宮城県)

合計10地点

実験で用いた個体数

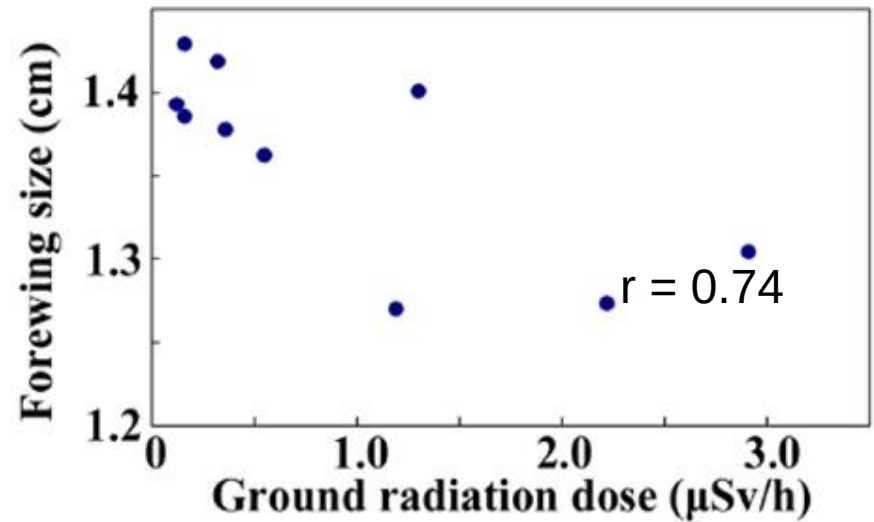
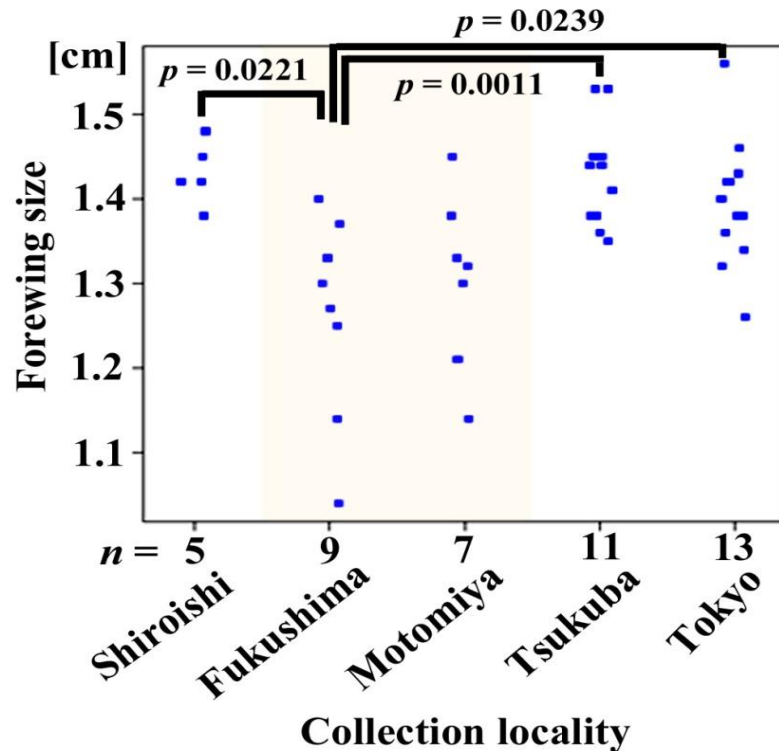
- 2011年5月採集(第一世代<P>) 144頭
 - その子世代<F1> 2,516頭
 - その孫世代<F2> 538頭
 - 2011年9月採集(第一世代<P>) 238頭
 - その子世代<F1> 1,563頭
 - 外部照射実験 200頭
 - 内部被曝実験 542頭
- 総計5,741頭

研究結果

研究結果

福島地方でのサンプリングと F1・F2の飼育（沖縄にて）

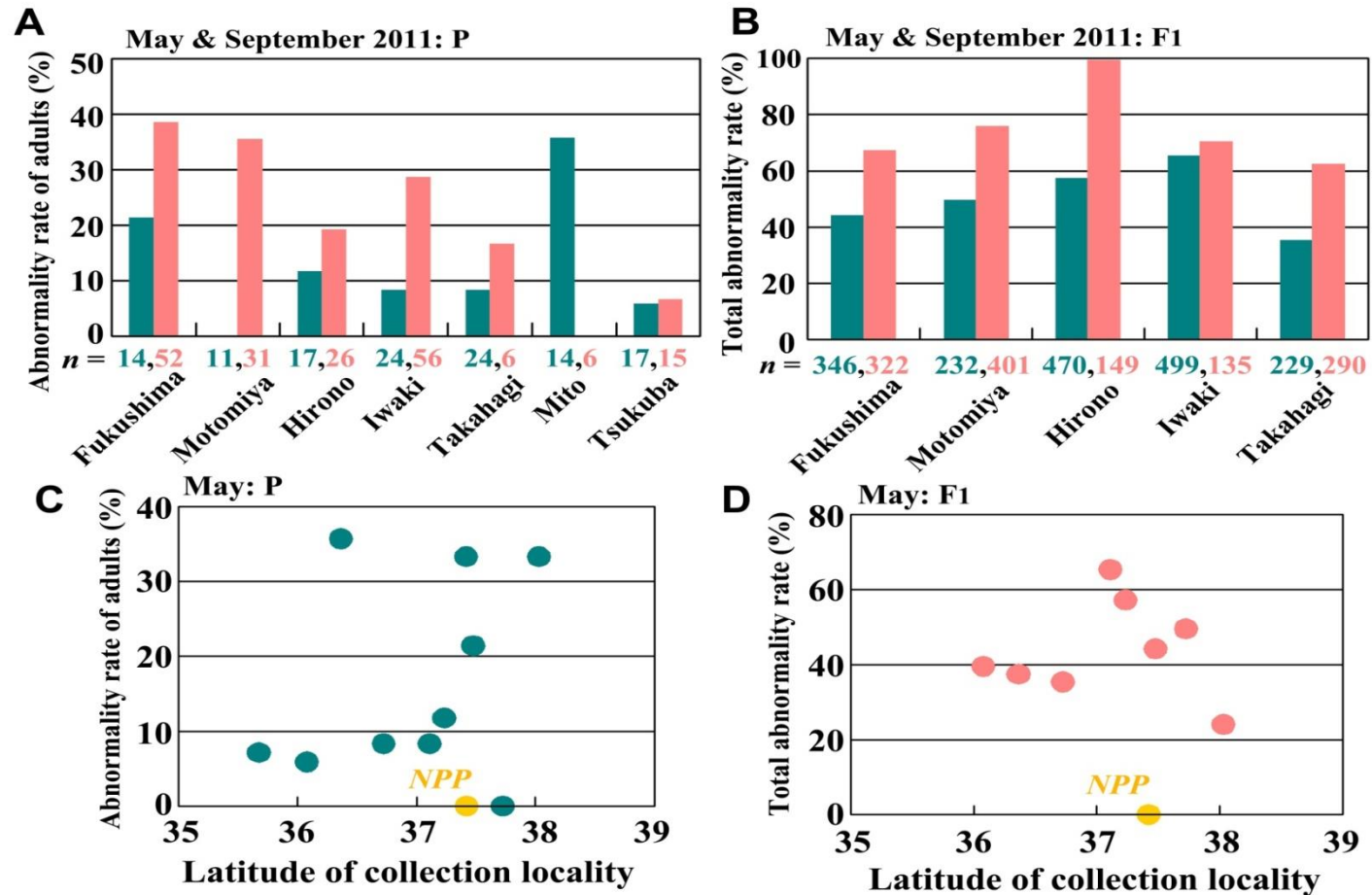
翅サイズ【～個体サイズ】 (2011年5月の採集個体)



福島個体群で翅サイズの有意な縮小が起こっている。
翅サイズは採集地の線量に依存して小さくなる。

Temperature-size rule (寒い地域のものほど大きい) に反する。

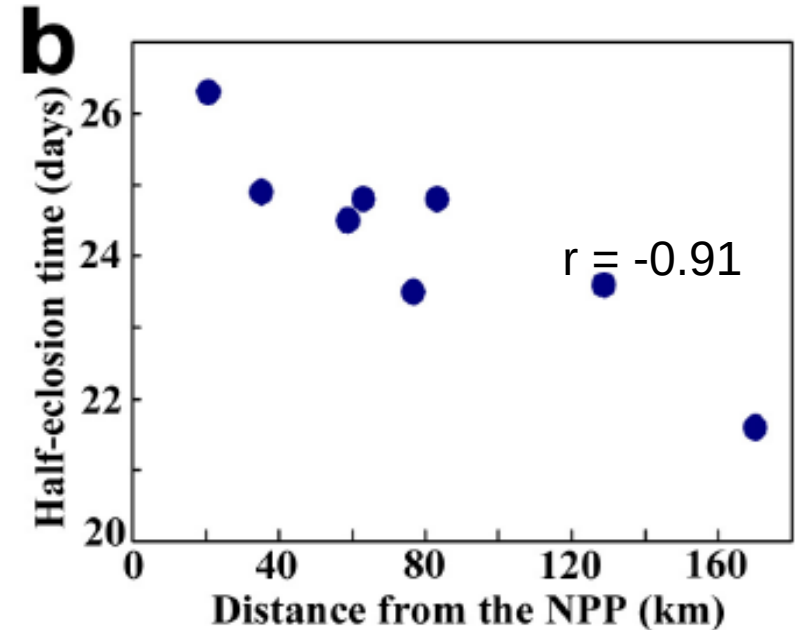
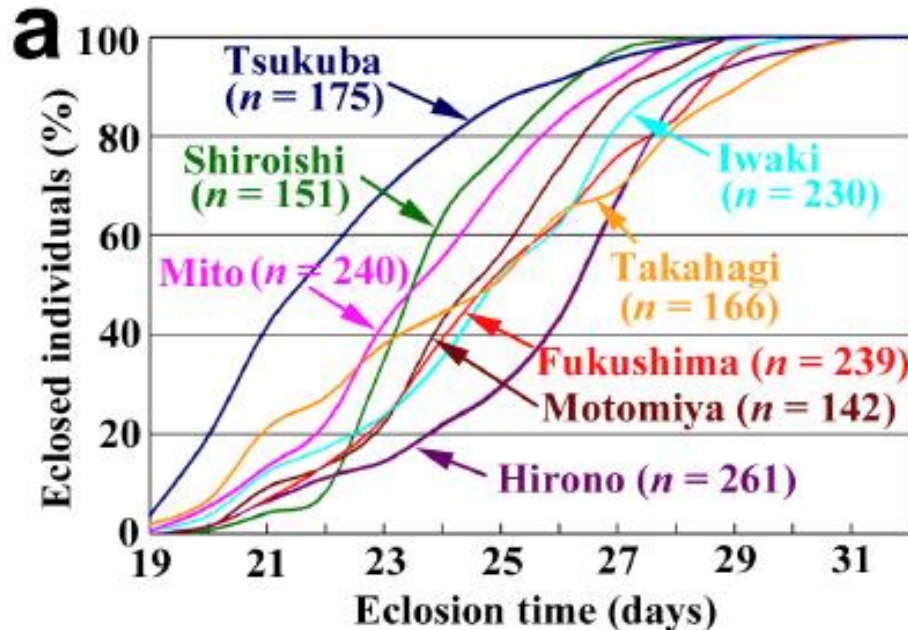
採集時期・緯度と異常率との関係



5月よりも9月のほうが水戸以外のどの地域でも異常率が高い

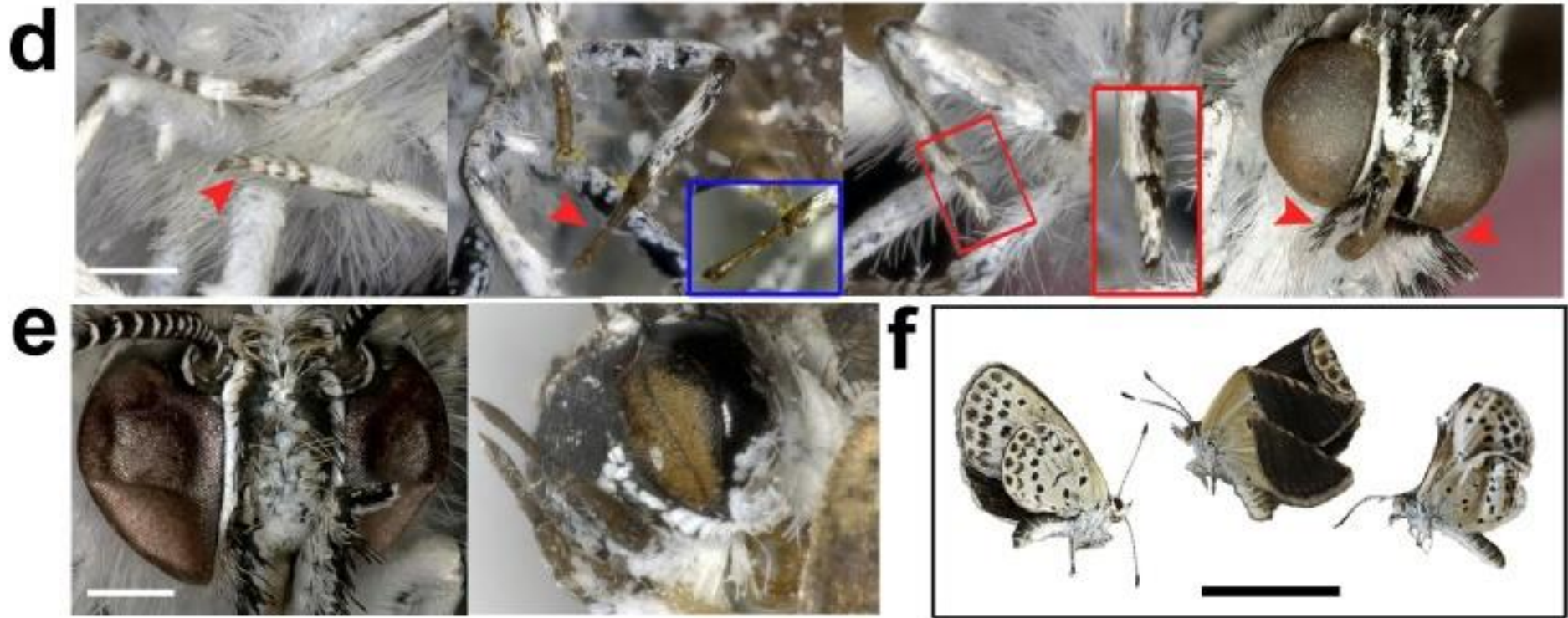
緯度と異常率の関係はみられない。あるとすれば、原発付近で高い？

F1 (捕獲個体の子供)の羽化までの日数



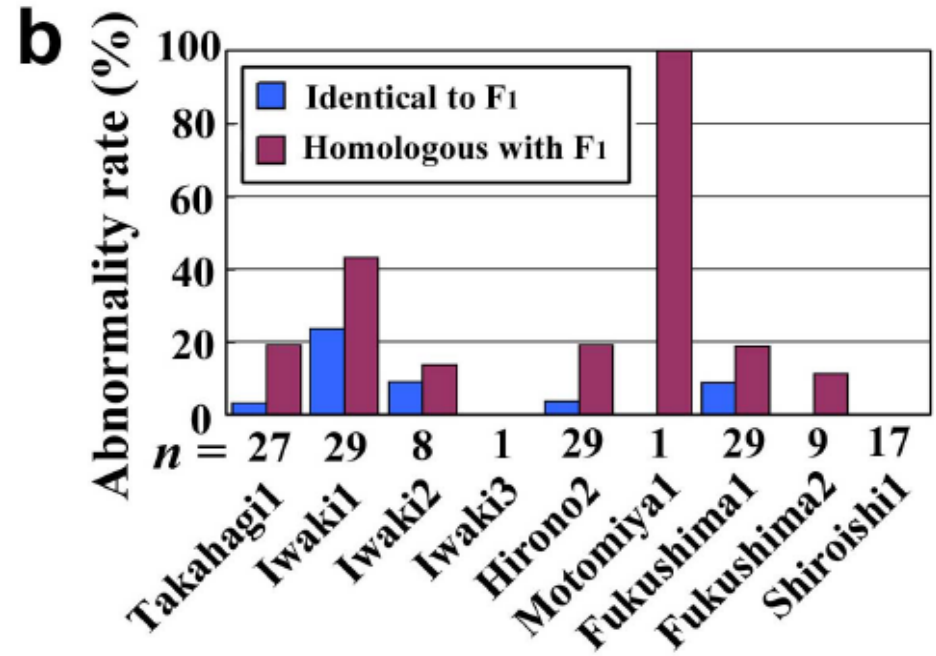
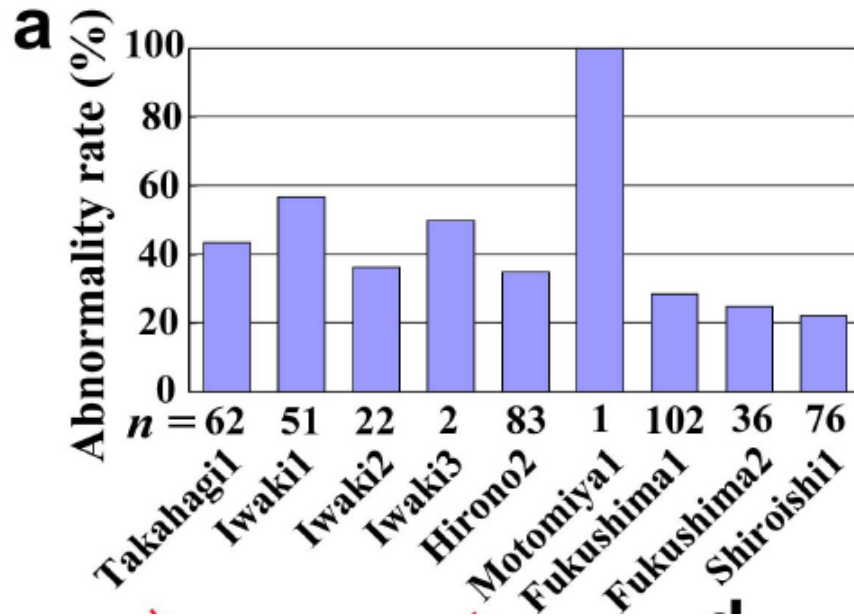
福島第一原発に近いほど、羽化までの日数が長くなる。
【成長遅延】

F1(子)世代の異常個体



脚・パルピ・複眼・翅(大きさ・形・色模様)の異常個体が出現。

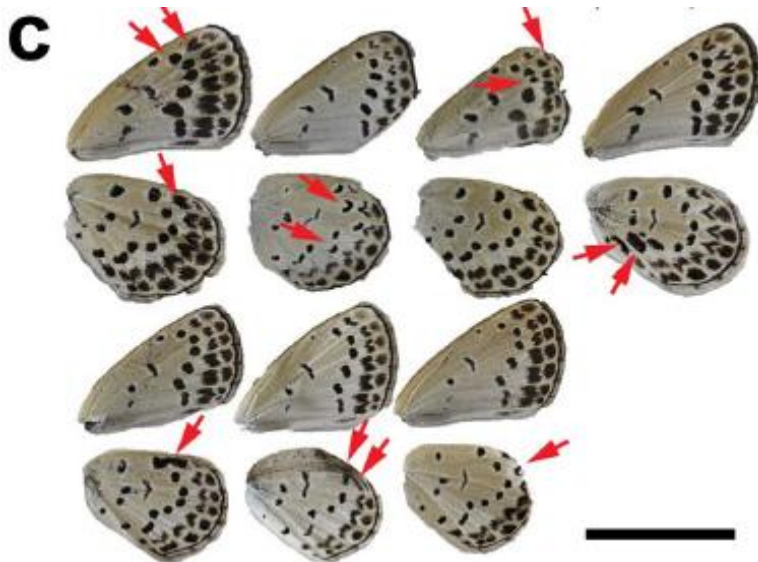
F2(孫の世代)の異常率



各地の異常♀ × つくば正常♂
そもそも、産卵数が少なく、死亡個体が多い。

子世代の異常が孫世代に遺伝している
可能性が高い。

F2(孫世代)で出現した異常個体



しかし、これだけの実験では遺伝性である（異常がDNA損傷に基づくものである）ことを断言するには十分な証拠ではない。

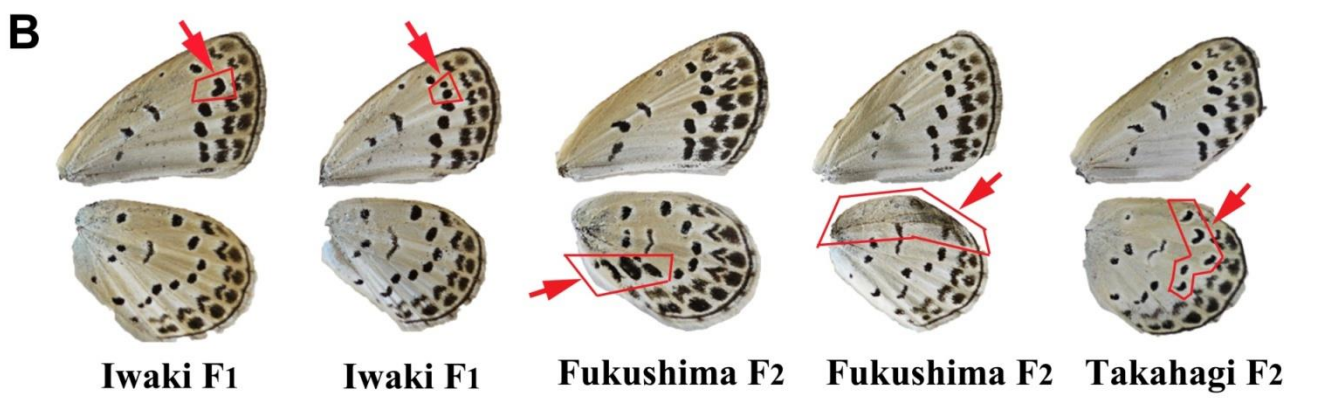
今後の研究で取り組む必要がある。

F1(子)・F2(孫)世代の斑紋異常

Normal (wild type)



F1 and F2 (Aberrant)



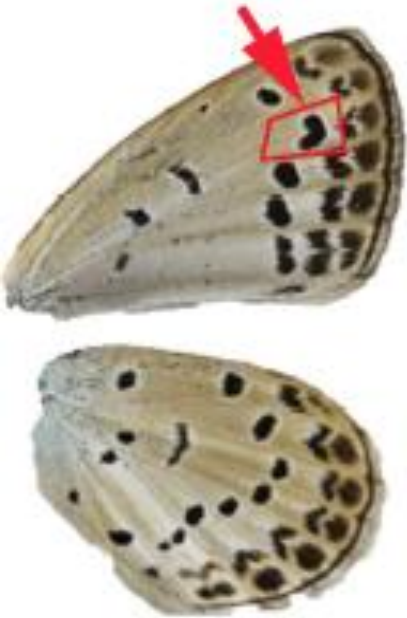
冷却ショック個体
【表現型可塑性】

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

福島個体の色模様とコールドショックの違い



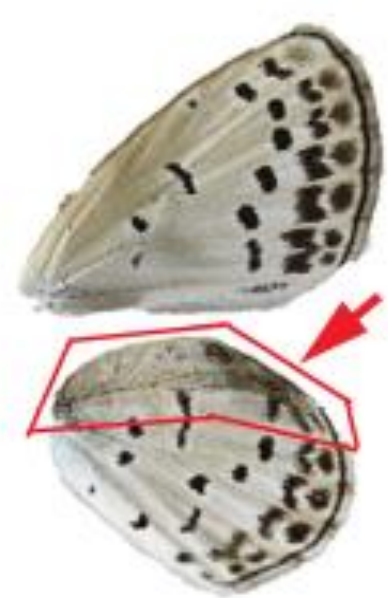
Iwaki F1



Iwaki F1



Fukushima F2



Fukushima F2



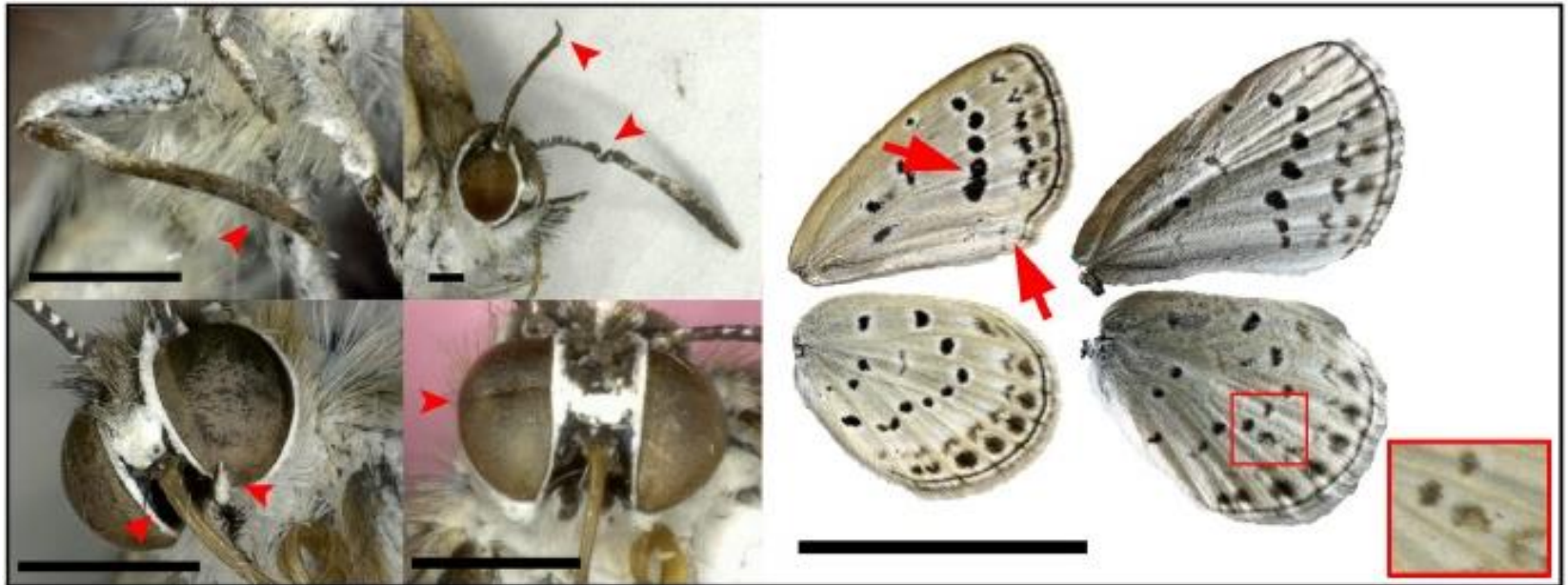
コールドショック:
(1)内向型
(2)外向型
(3)消失型

研究結果

外部照射実験（沖縄個体）

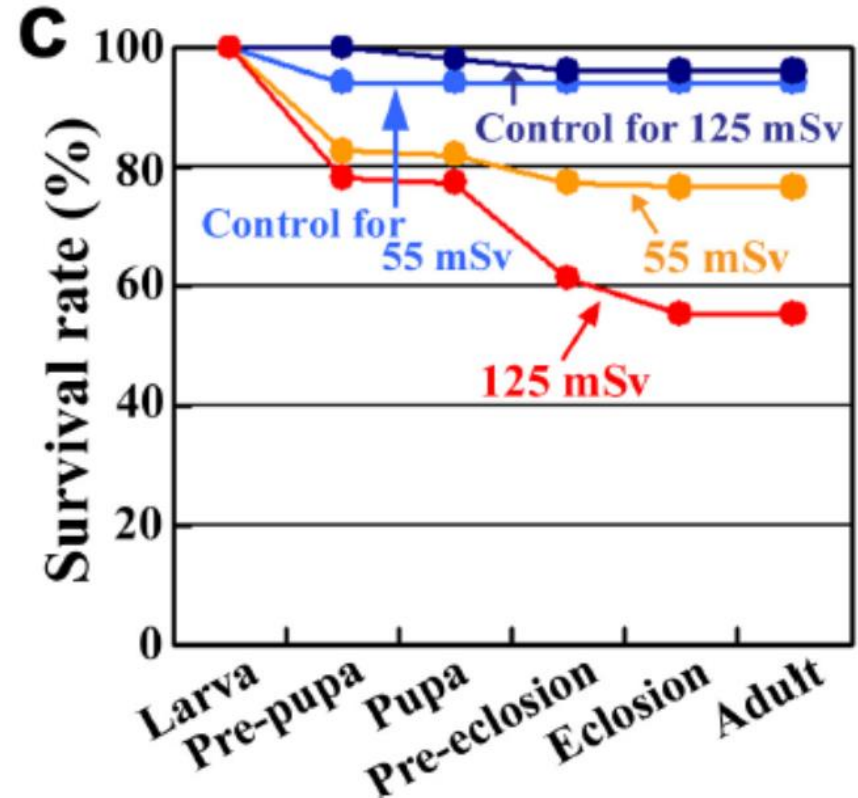
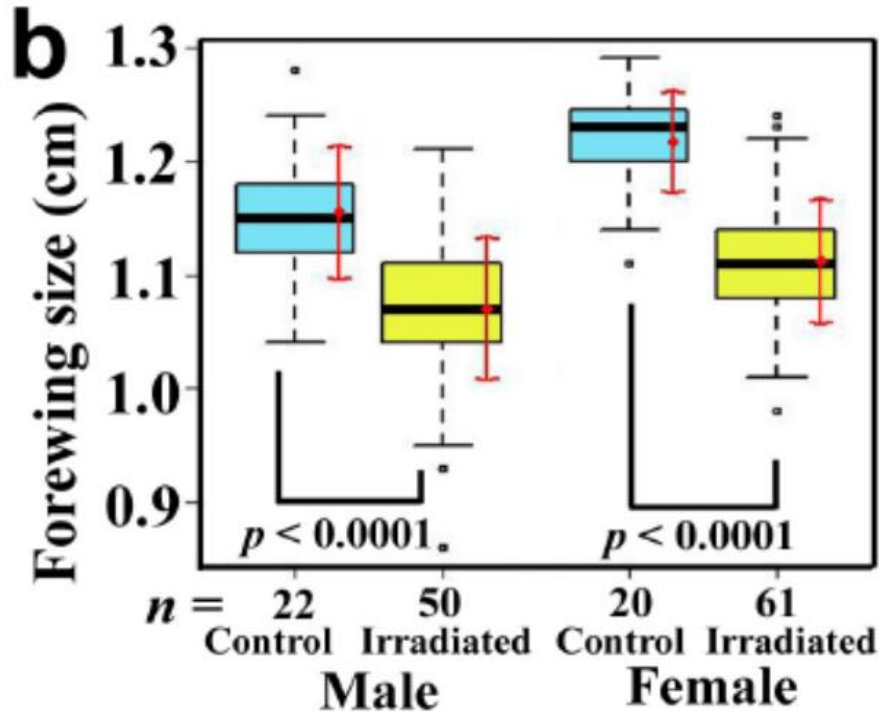
形態異常【外部照射】

(積算 55 mSv [280 h = 11.6 d]: 196 μ Sv/h
or 125 mSv [387 h = 16.1 d]: 323 μ Sv/h)



脚・触角・パルピ・複眼・翅(形、色模様)の異常が出現

翅サイズ・生存曲線 【外部照射】



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

研究結果

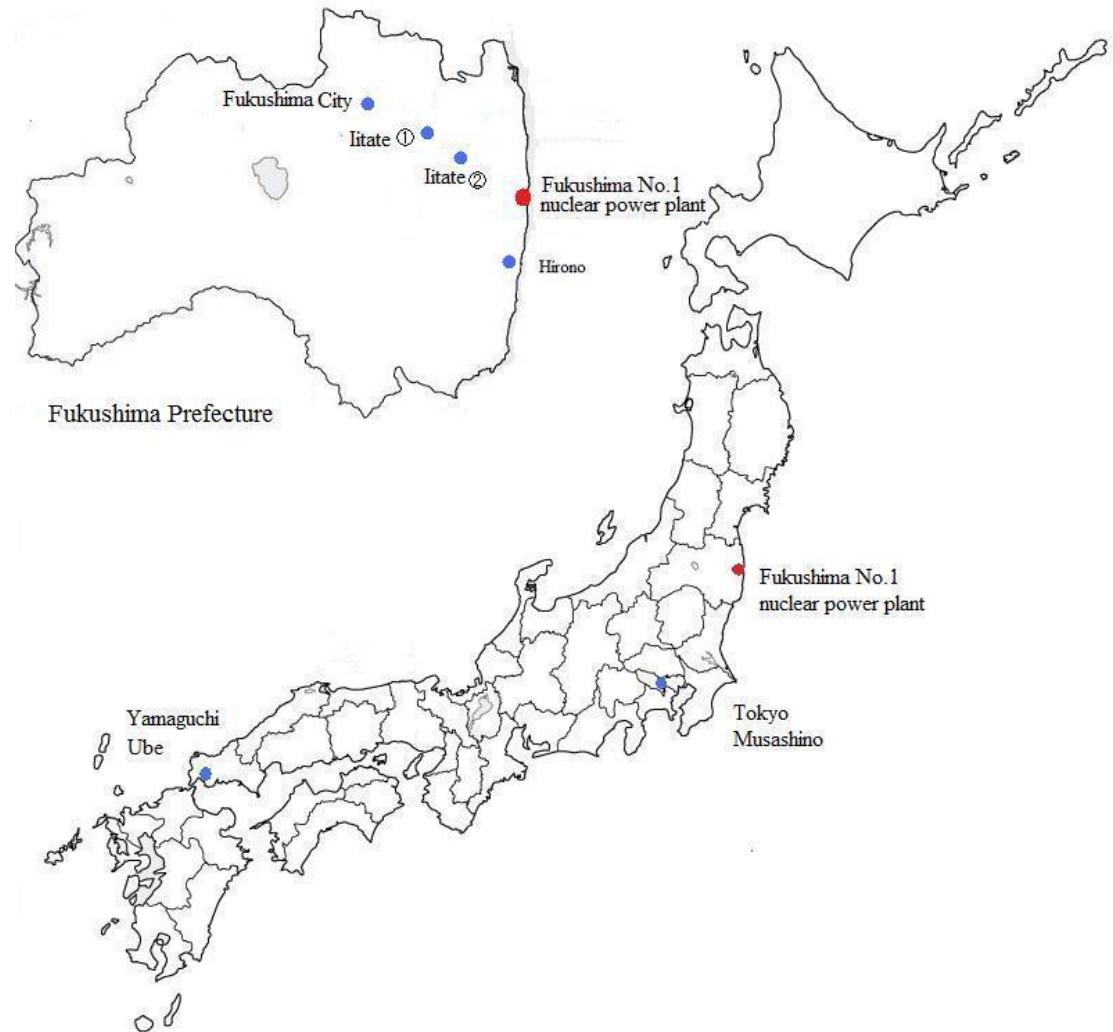
内部被曝実験
(沖縄個体に福島地方の
カタバミを食べさせる)

内部被曝実験【重要】

- 沖縄で生まれたヤマトシジミに、福島県内各地と山口県宇部市（コントロール）で採集したカタバミを与え、沖縄で飼育した。
- 各地で採集したカタバミに含まれる放射性セシウムの量などを調べた。
- 各種異常、翅サイズ、生存率を調べた。

カタバミ採集地点(●)-

- 山口県宇部市
- 広野町
- 飯舘村(山間部)
- 飯舘村(平野部)
- 福島市内
- 飼育(沖縄)



内部被曝実験に用いた各地のカタバミの セシウム、β線、地面線量

	原発からの 距離 (km)	地表線量 (μSv/h)	β線 (cpm/kg)	^{137}Cs (Bq/kg)	^{134}Cs (Bq/kg)
宇部	966.0	0.18	6.33×10^2	5.3×10^{-1}	3.9×10^{-1}
広野	20.7	1.06	4.35×10^3	7.71×10^2	5.83×10^2
福島市	61.1	3.57	2.13×10^4	4.17×10^3	3.16×10^3
飯舘村平野部	40.0	6.22	2.73×10^4		
飯舘村山間地	33.7	18.86	7.61×10^4	2.31×10^4	1.75×10^4

Ge半導体放射線検出器を用いて測定

内部被曝実験に用いた各地のカタバミの セシウム、β線、地面線量(相対値)

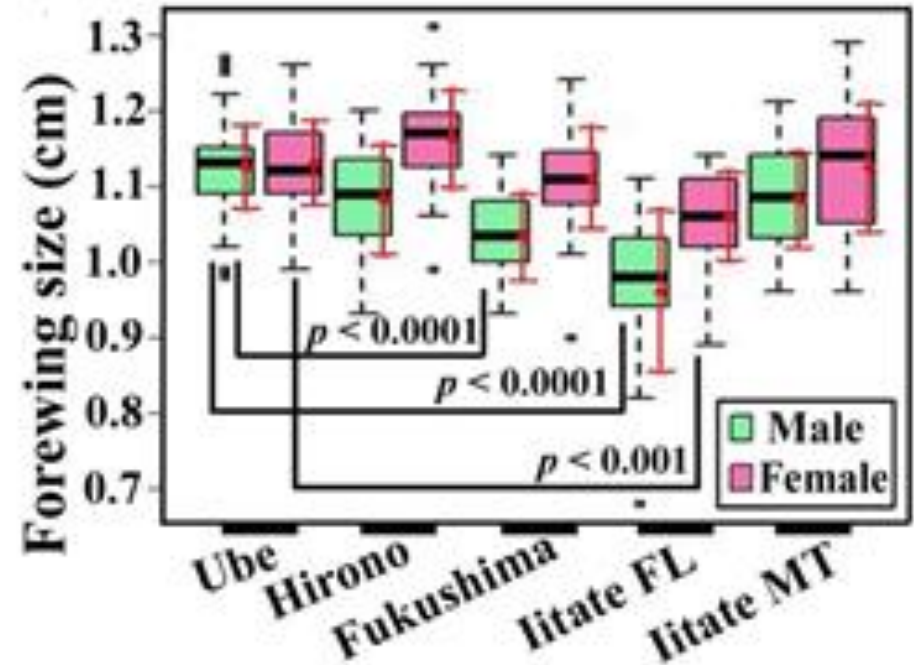
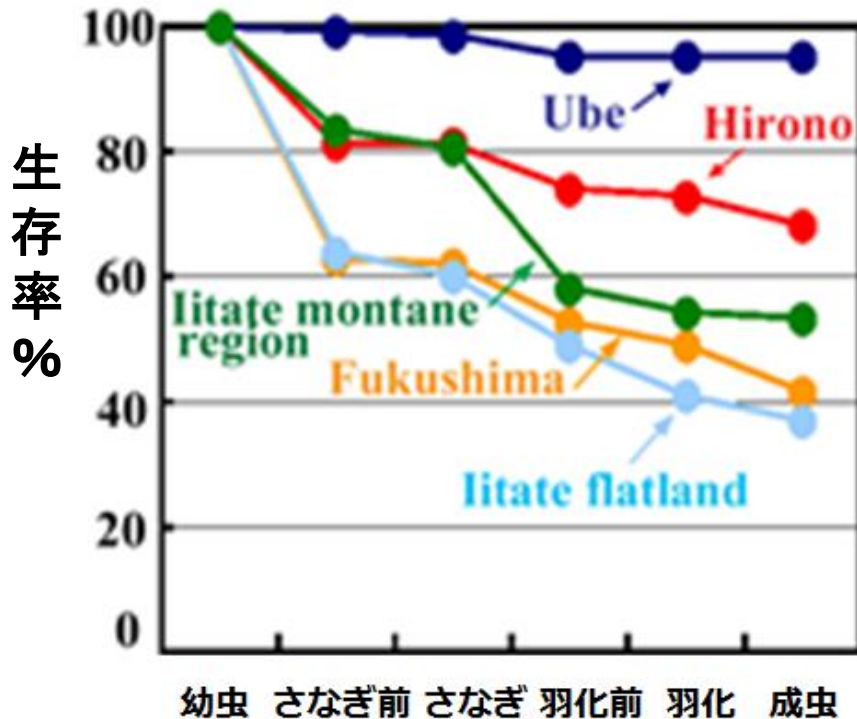
	Distance from the NPS (km)	Ground (μSv/h)	β-ray (cpm/kg)	¹³⁷ Cs (Bq/kg)	¹³⁴ Cs (Bq/kg)
Ube	966.0	1	1	1	1
Hirono	20.7	6	7	1,455	1,495
Fukushima	61.1	20	34	7,868	8,103
litate flatland	40.0	35	43	10,226	10,436
litate montane region	33.7	105	120	43,585	44,872

内部被曝による形態異常



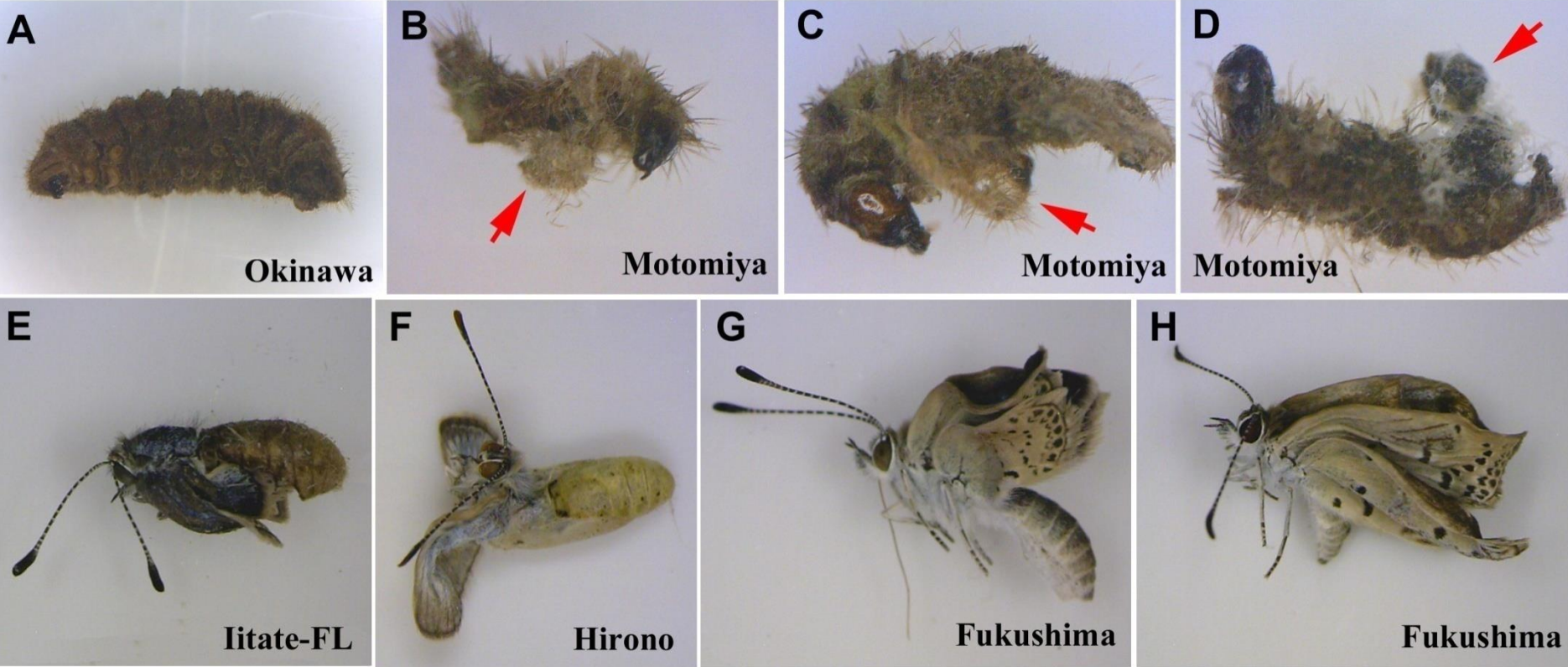
触角・パルピ・複眼・翅の形態・色模様の異常が再現された。

生存曲線と翅のサイズ



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】

内部被曝死亡個体



脱皮・羽化不全による死亡が多い。
細胞が放射線により直接死ぬわけではない。

主な結果のまとめ

【野外個体・飼育個体】

- 成長遅延・矮小化
- 形態異常(特にF1・F2と9月のP)
- 異常率の上昇(5月[P, F1]から9月[P, F1])
- 異常形態の遺伝

【外部被曝・内部被曝】

- 生存率の低下
- 矮小化
- 異常形態

ご清聴ありがとうございました

琉球大学大瀧研究室

檜山充樹
野原千代
金城聖良
平良渉

琉球大学機器分析支援センター

棚原朗
儀間真一

そのほか、大変多くの方々からのご支援を
受けることができました。
ありがとうございました。

プロジェクトに精力的に参加して
くれる修士の学生を募集中です。
試験は英語、生物、面接です。
社会人枠は面接のみです。

ゲノム・プロジェクトのための寄附も随時受付中！

詳しくは w3.u-ryukyu.ac.jp/bcphunit/index.html まで

www.nature.com/scientificreport 133

