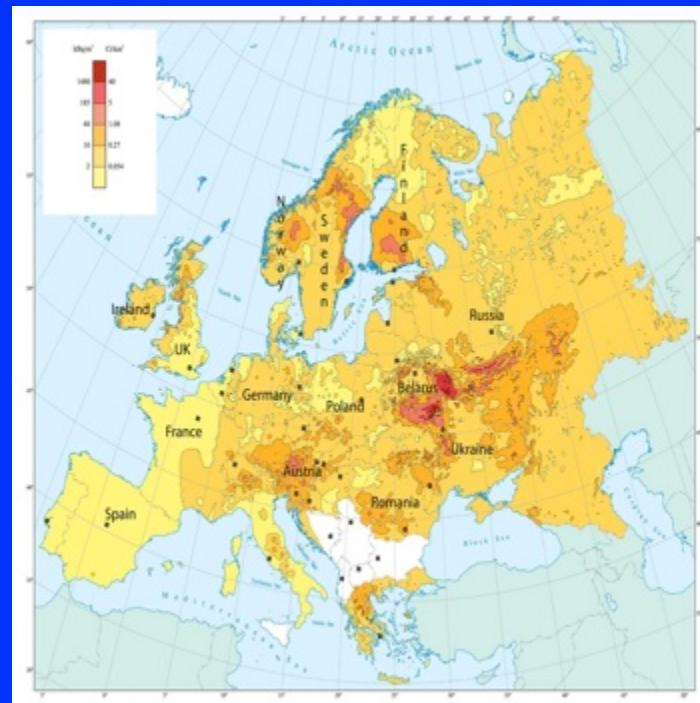


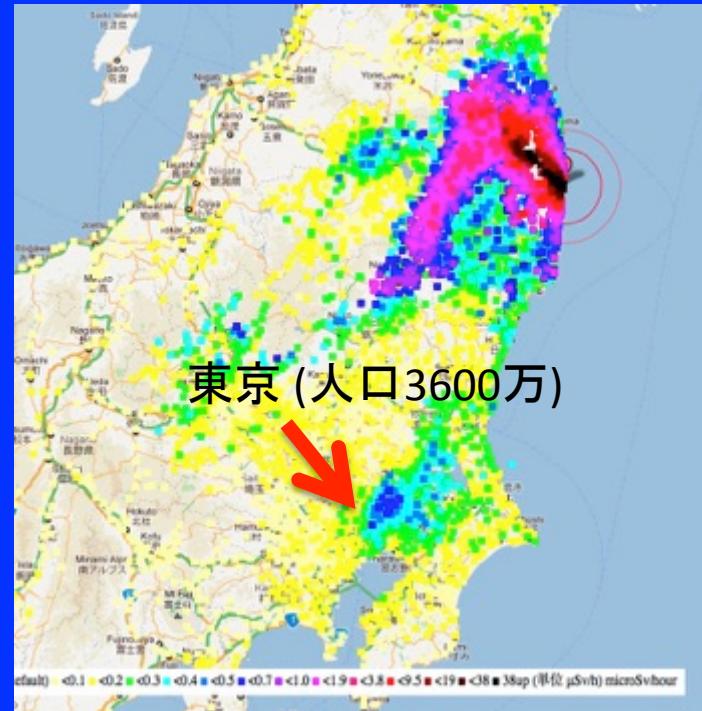
チェルノブイリ、福島、その他の汚染地：環境における放射線の生物学的影響



ティモシー・A・ムソー

サウスカロライナ大学

協力



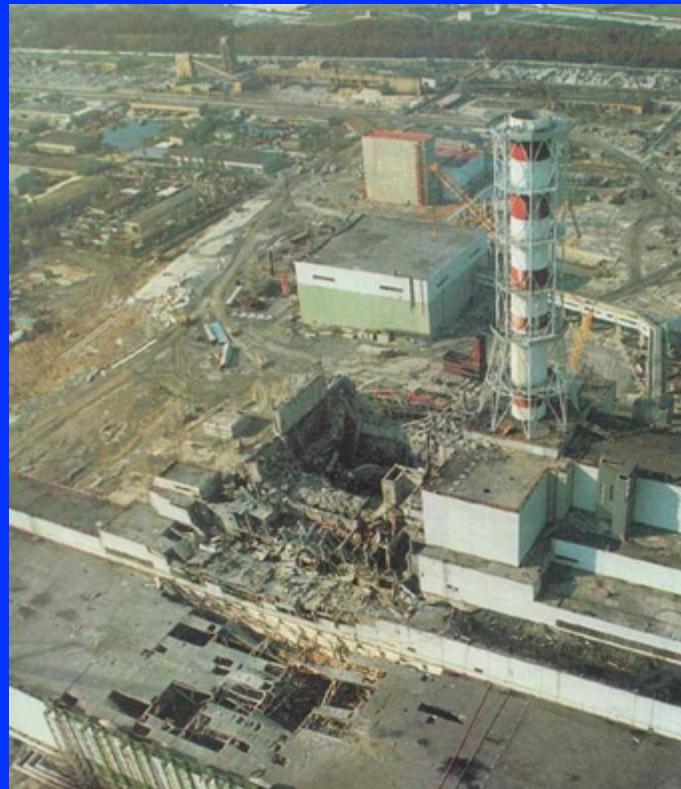
サミュエル・フリーマン公益信託、
サウスカロライナ大学教養学部、サウスカロライナ大学研究部、CNRS(フランス)、
中部大学科学技術センター、

フルブライト財団、キアゲンGmbH、コロンビア大学/米国立衛生研究所、
アメリカ国立科学財団、ナショナル・ジオグラフィック協会、CRDF、NATO CLG

謝辞

アンダース・P・メラー、G・ミルネヴスキ、A・ボニソリ-アルカーティ、T・メイプス、B・クール、H・スミス、J・パルムス、M・フィツツパトリック、P・ナガルカルツティ、K・カワイ

チェルノブイリ、そして今、福島を調査する理由



チェルノブイリ原子力発電所 1986年



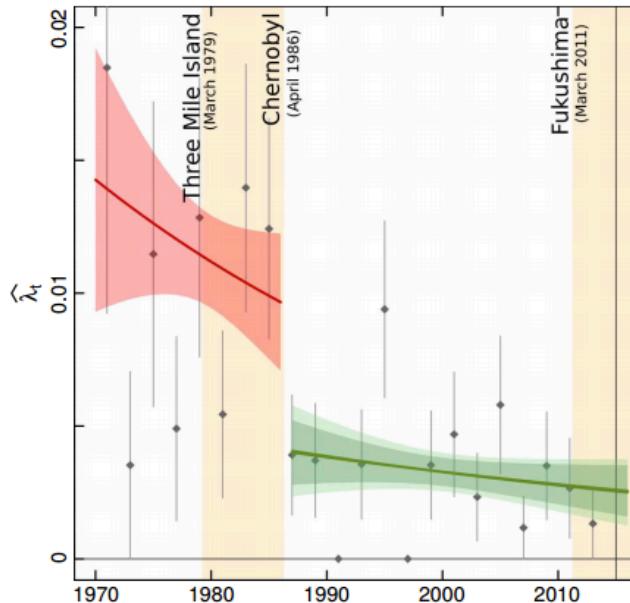
福島第一原子力発電所 2011年

原子力発電所の歩み

- ・ 商業用原子力発電所は、現在までに600基以上建設された
- ・ 現時点で、31カ国に約430基の原子力発電所が存在し(アメリカに100基以上)、15カ国で72基が新設中である(中国に39基、アメリカに5基)
- ・ 商業用原子力発電所の大事故は、今までに3回
 - 1) スリーマイル島(1979年)
 - 2) チェルノブイリ(1986年)
 - 3) 福島(2011年)
- ・ 1952年以来、原子力発電所関連の重大インシデントまたは事故は、今までに33件
- ・ 大部分の原子力発電所が設計上の運用年数終了に近づきつつある点を考慮すると、さらに多くの事故が予測される……

The Chances of Another Chernobyl Before 2050? 50%, Say Safety Specialists

And there's a 50:50 chance of a Three Mile Island-scale disaster in the next 10 years, according to the largest statistical analysis of nuclear accidents ever undertaken.



The catastrophic disasters at Chernobyl and Fukushima are among the worst humankind has had to deal with. Both were the result of the inability of scientists and engineers to foresee how seemingly small problems can snowball into disasters of almost unimaginable scale.

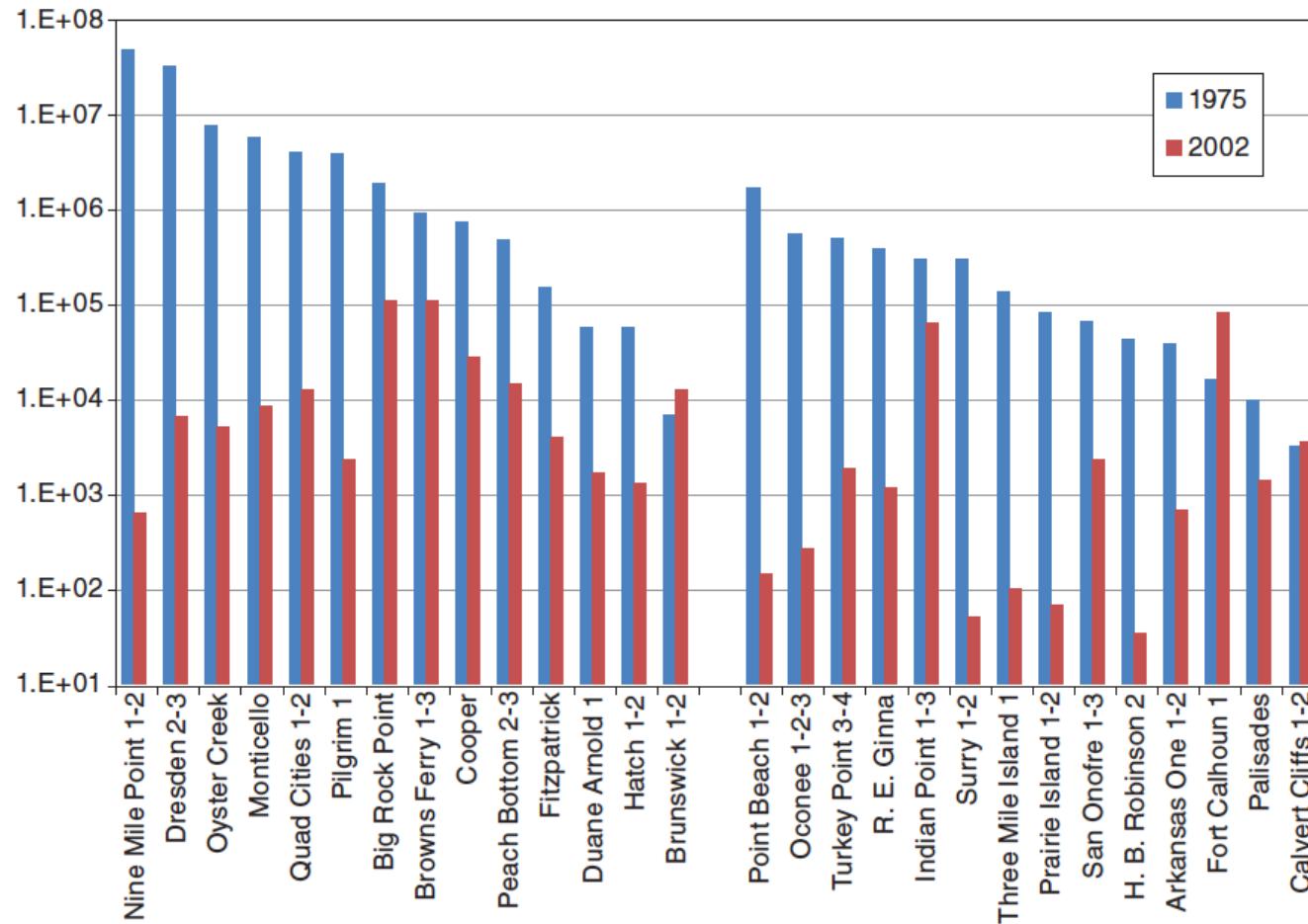


FIGURE 2.5 Comparison of atmospheric releases of noble gases for selected BWRs (left) and PWRs (right) in the United States. The units on the vertical scale are in gigabecquerels (GBq = 0.03 Ci). SOURCE: Data from the United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation (UNSCEAR).

ブリス J.E.,..., T.ムソー
ら, 2012.「原子力施設近
辺の個体群における癌
のリスク分析」原子力お
よび放射線調査委員会,
国立学術出版社, ワシ
ントン, 412ページ

[Listen Live](#) | [More Streams](#) | [Radio Frequencies](#)VPR Now: [Wait, Wait...!](#) Next: [The Splendid](#)[VPR News](#)[Vermont Edition](#)[VPR Classical](#)[VPR Music](#)[Schedule](#)[Support VPR](#)

VPR News



SHARE

[All VPR News](#) | [Podcast](#) | [RSS](#) | [Contact Us](#) | [Transcripts](#)

New Developments Disclosed On Tritium Contamination At Vermont Yankee

Friday, 01/28/11 5:50pm

[LISTEN \(2:06\)](#) MP3 | Download MP3

John Dillon - Montpelier, Vt.



AP File Photo/Jason R. Henske

A Yankee spokesperson examines a monitoring well in March, 2010.

(Host) There are more developments on radioactive tritium contamination at the Vermont Yankee plant.

The plant disclosed today that another well is contaminated. And, as VPR's John Dillon reports, Yankee also confirmed that it couldn't test for tritium for two weeks.

(Dillon) An underground plume of water laced with tritium has been tracked by Yankee officials and government regulators since about this time last year.

The tritium was traced to leaking underground pipes that Yankee had not previously disclosed existed.

There hadn't been any additional discoveries for months. Until last week. That's when Yankee said it had found another well containing the radioactive isotope.

トリチウムが漏洩している原子力発電所の数は?
(過去数年間で37件を超える報告)

さらに、各発電所には膨大な量の使用済み燃料が存在している。



Journal of Environmental Radioactivity

Volume 133, July 2014, Pages 10–17

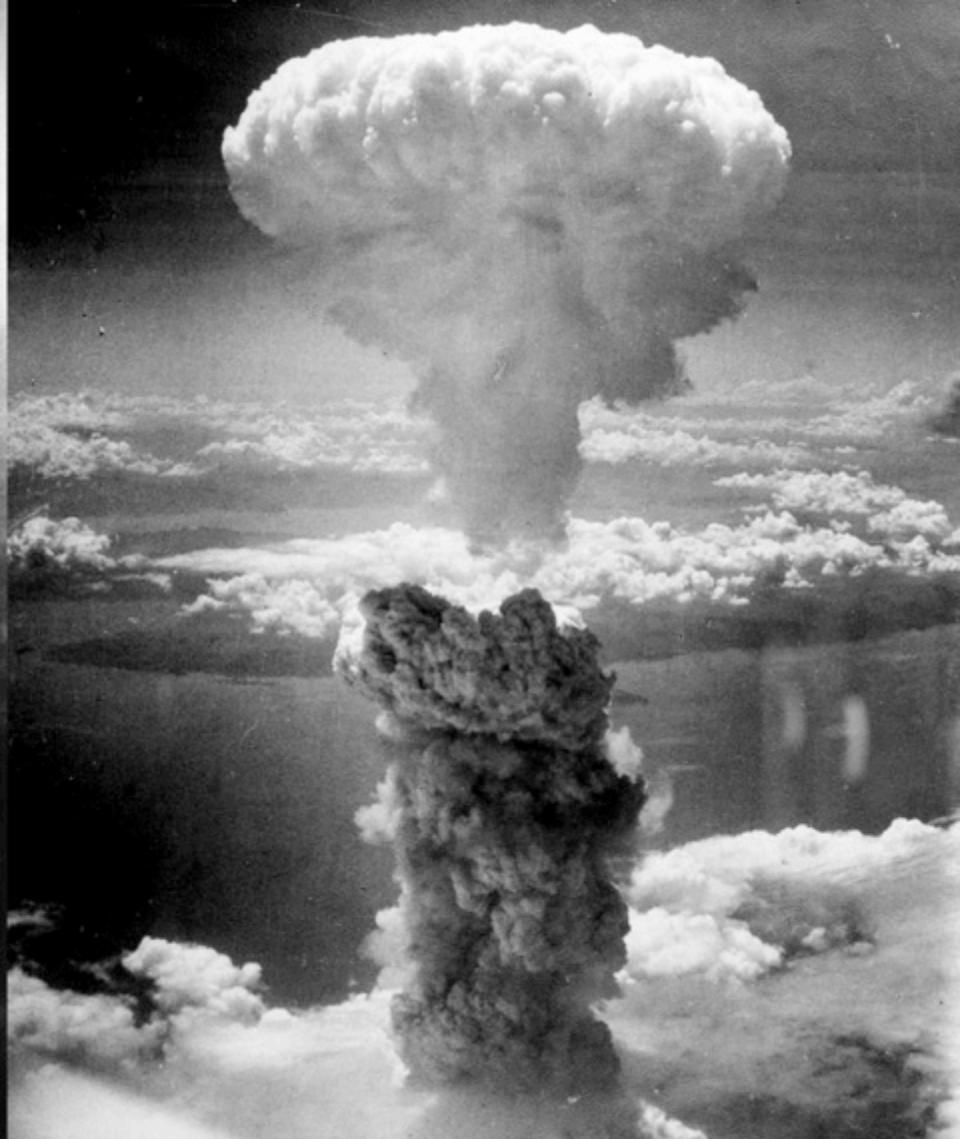
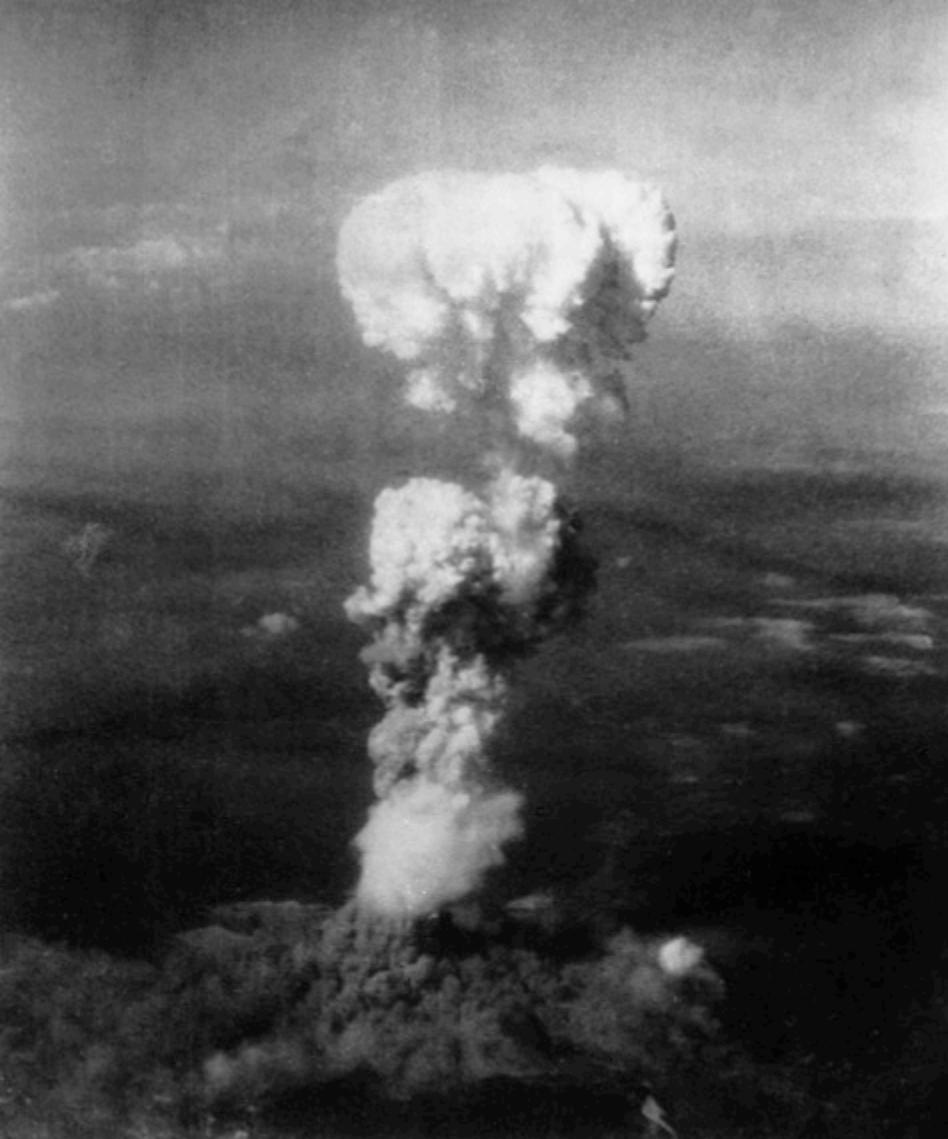
Environmental Radioactivity: Implications for Human and
Environmental Health - International Symposium at Plymouth
University, UK



A hypothesis to explain childhood cancers near nuclear power plants

Ian Fairlie  

長崎と広島における原子爆弾



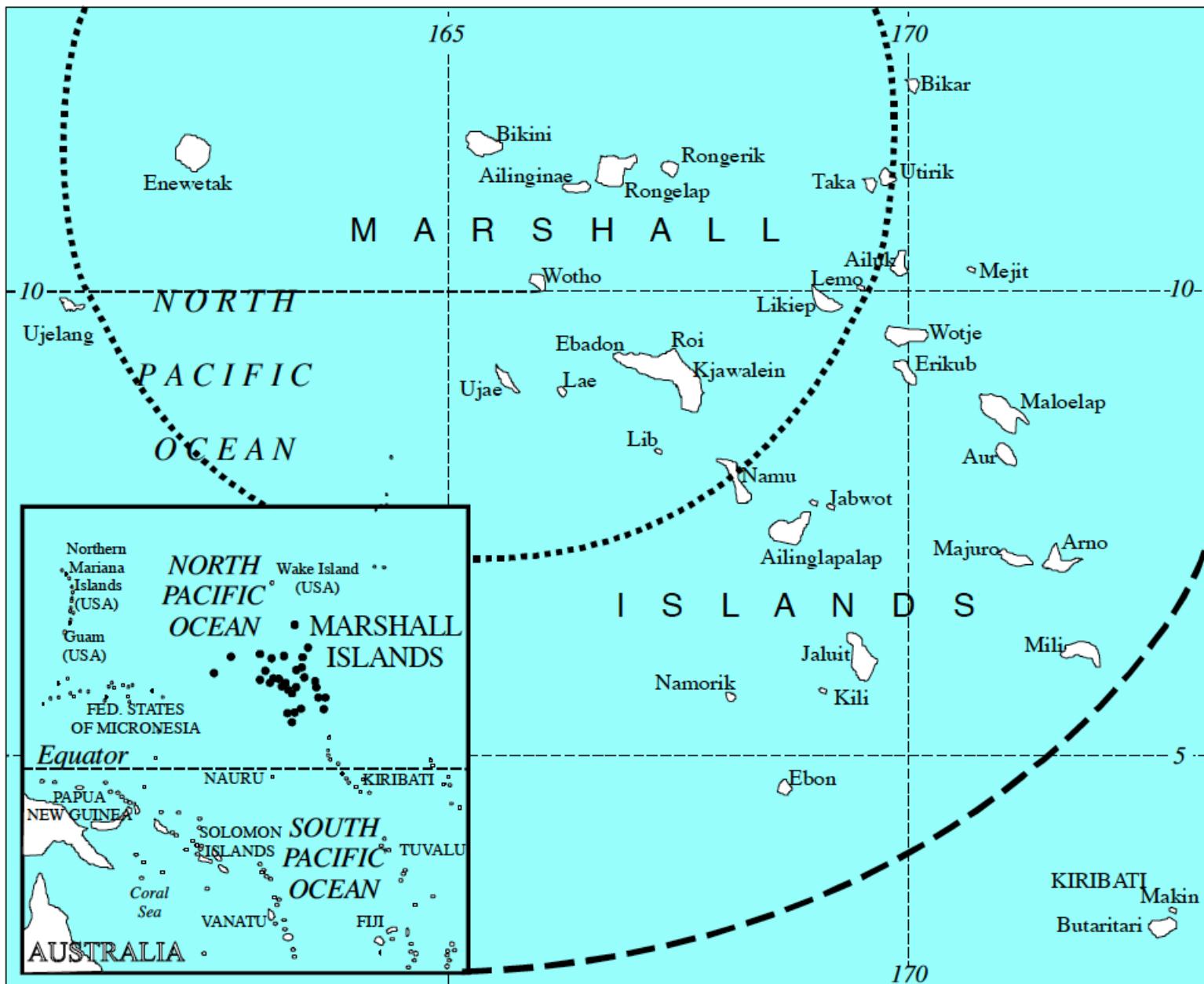
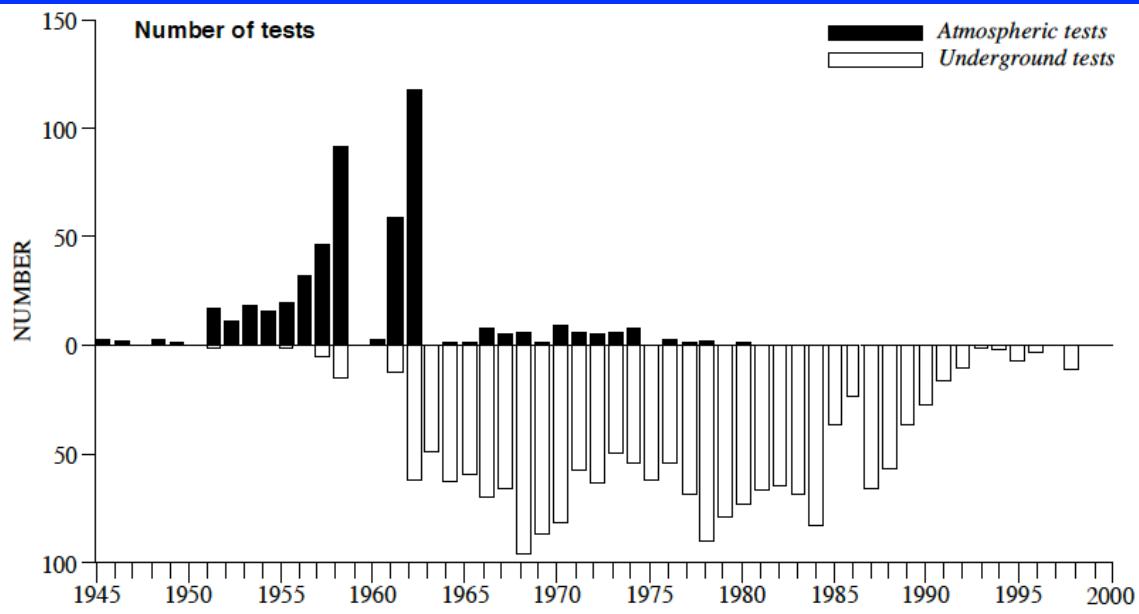


Figure XII. Bikini and Enewetak test sites.

The inner dotted circle indicates a distance of 500 km, the outer dashed circle 1,000 km from the test sites.



大気圏内 1193件
地下 1517件
合計 2710件

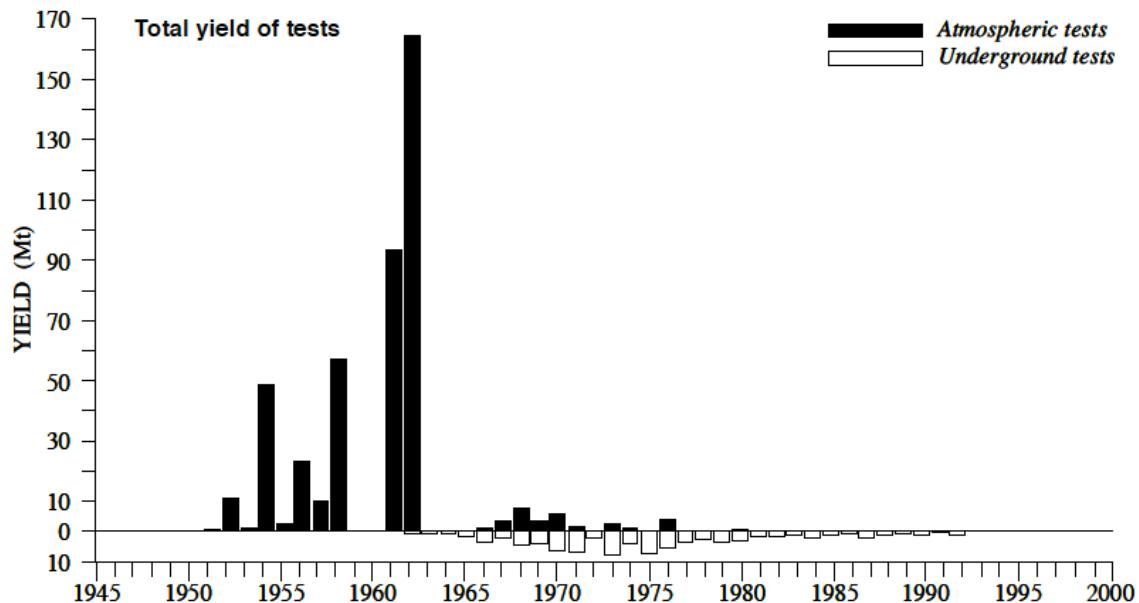
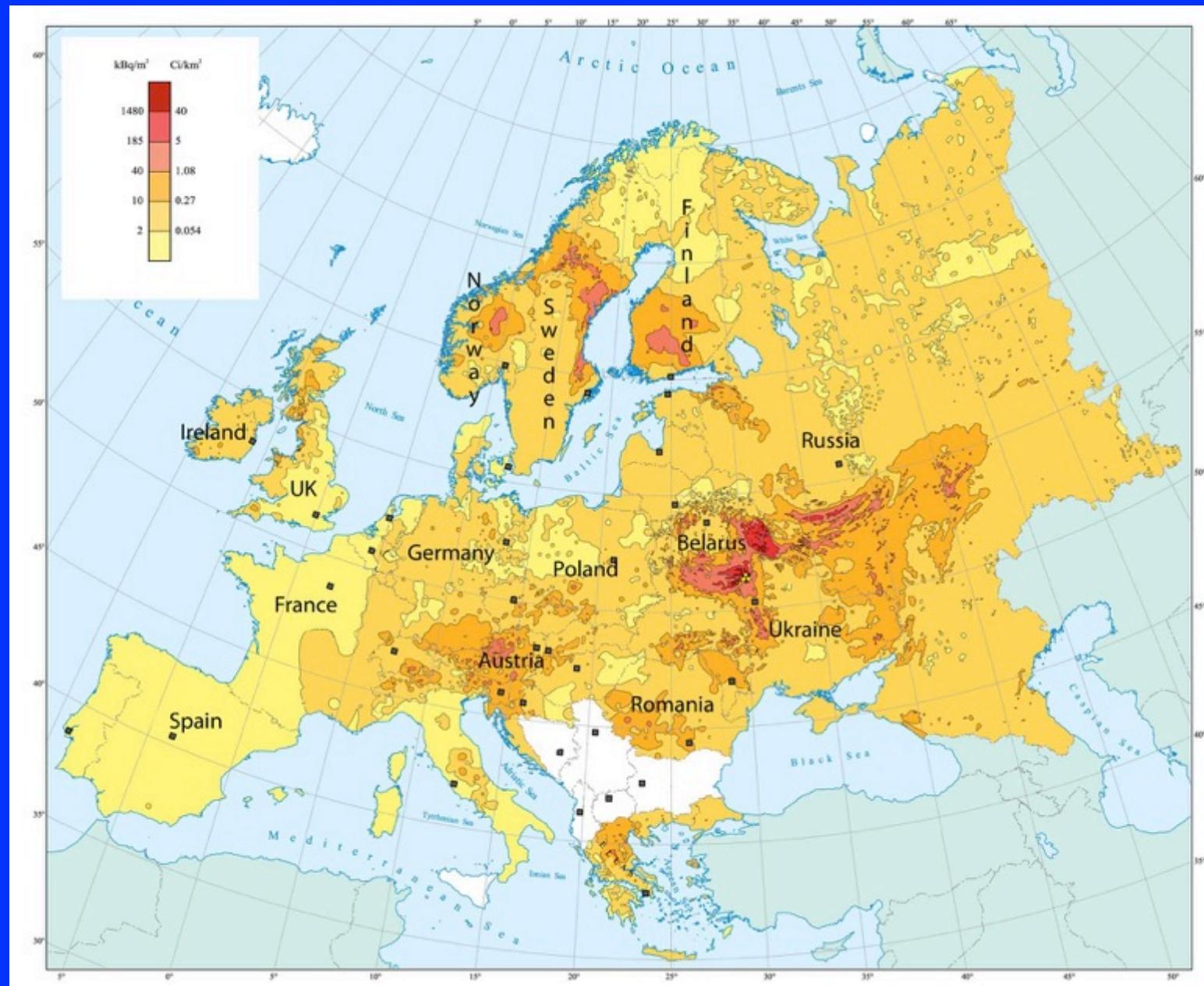
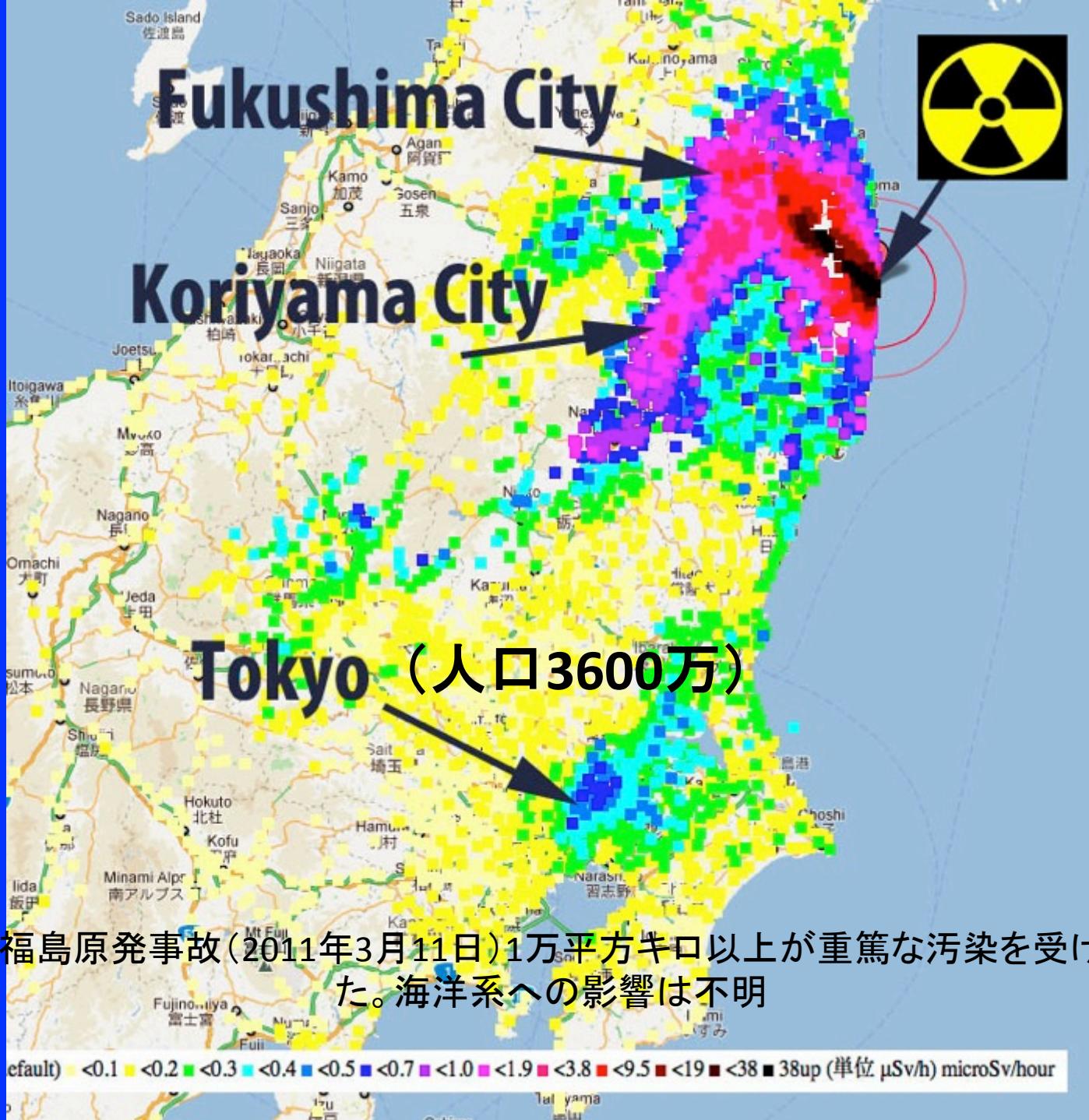


Figure I. Tests of nuclear weapons in the atmosphere and underground.

Chernobyl Nuclear Power Plant Accident (April 26, 1986) - Nuclear fire lasted 10 days

More than 200,000 square kilometers of land (approximately half of Japan's national territory) were heavily contaminated.





福島原発事故(2011年3月11日)1万平方キロ以上が重篤な汚染を受けた。海洋系への影響は不明



国連チェルノブイリ・フォーラム報告 (IAEA, 2006: p137):

「...多くの動植物の個体群は増加しており、現在の環境条件は、チェルノブイリ強制避難区域内の生物相に良い影響を与えている。」

人間の疾病は主として心理的ストレスの結果....
(および、喫煙やアルコールなど、その他の環境要因)

UNSCEAR 2013

国連総会への報告 – 2014 年 4 月

4. 人間以外の生物相の放射線被曝とその影響

「(福島) 原発事故後の海洋および陸上における人間以外の生物相の被曝は、全体として、急性影響が観測されない程度に低いものであった……」

「(b)放射線の影響は放射性物質の沈着が最も高い一部の区域に限られており、その区域外では、生物相への影響の可能性は重大ではない。」

注: この報告書が発表されたのは 2014 年 4 月であり、鳥類や昆虫への影響を示す複数の論文が発表されてから1年以上経っていた。

IAEAは、近年のチェルノブイリと福島に関する全ての研究を無視している!



4.5. RADIOLOGICAL CONSEQUENCES FOR NON-HUMAN BIOTA

No observations of direct radiation induced effects in plants and animals have been reported although limited observational studies were conducted in the period immediately after the accident. There are limitations in the available methodologies for assessing radiological consequences but, based on previous experience and the levels of radionuclides present in the environment, it is unlikely that there would be any major radiological consequences for biota populations or ecosystems as a consequence of the accident.

The Fukushima Daiichi Accident

しかし...

- これらの主張を裏付ける厳密で実証的な科学的データはない。
- 原発事故から生じた個体、個体群、生態系への悪影響を示す実証的データの蓄積が無視されている。

切尔ノブイリ研究プロジェクト

切尔ノブイリ + 福島研究プロジェクト

- 2000年に、ティモシー・ムソー(サウスカロライナ)とアンダース・メラー(フランス)が開始
- 2011年7月、福島における調査を開始
- 鳥類、昆虫、微生物、哺乳類、植物の自然個体群の研究
- ウクライナ・ナローディチェスキ地方の子供たちの研究
- チエルノブイリで35回以上、福島で14回の調査旅行
- 低線量被曝の影響に関する80以上の学術文献(大部分は <http://cricket.biol.sc.edu>より入手可能)
- 独立の進化生物学者としての主たる関心は、生物の適応状況と、突然変異率上昇が個体数の動態におよぼす影響を記録すること。我々は反原子力活動家ではない

仮説と疑問点:

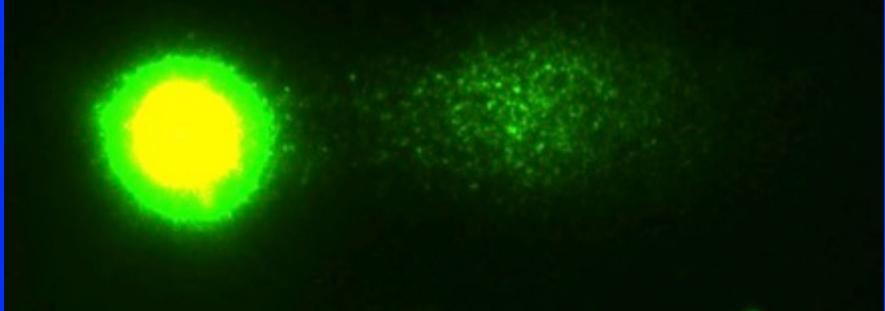
- 低線量(および高線量)被曝の結果、自然個体群における突然変異率は測定可能な程度に上昇するのか？
- 突然変異率の上昇による表現型への影響は観察されるか？(先天異常)
- 突然変異率の上昇による適応への影響は観察されるか？(生存、生殖、疾病)。
- 適応に関する証拠はあるか？
- 個体数と生物多様性への影響はあるか？
- 生態系への帰結はあるか？

突然変異率の推計

- マイクロサテライトDNAマーカー
- 単一および二重鎖切断率の測定にはコメットアッセイを使用
- 小核の発生頻度
- 精子の形態学的損傷を遺伝子損傷の代用として使用
- 将来:
 - 遺伝子発現様式
 - 全ゲノムをスキャンすることで新たな突然変異率を推計

染色体に対する遺伝子損傷コメットアッセイ

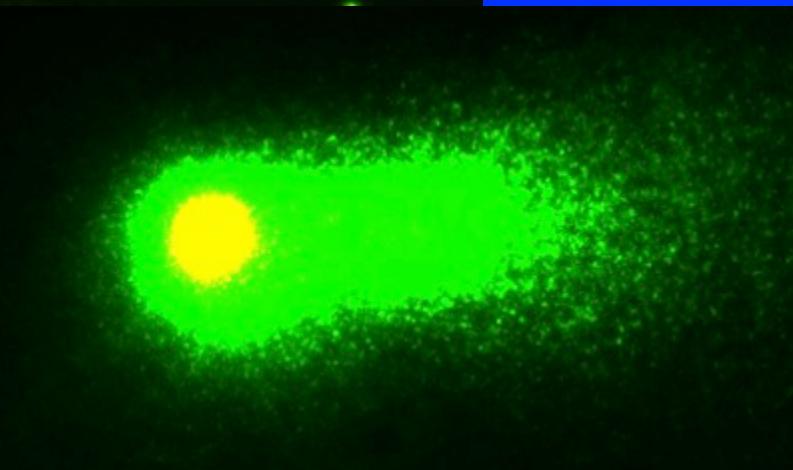
DNAは損傷しておらず、細胞核内にある



バッタ血リンパ



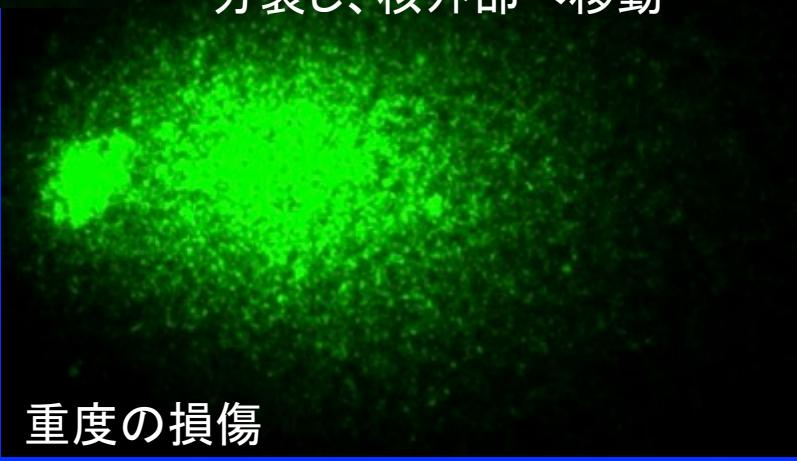
損傷が少ない



中程度の損傷

(チェルノブイリ)

放射線被曝によってDNAは分裂し、核外部へ移動



重度の損傷

ビースレイ, D.A.E., A.ボニソリ-アルカーティ, S.M. ウエルチ, A.P. メラー, T.A. ムソー. 2013.「バッタ (*Chorthippus albomarginatus*) における発達不安定に対する親の放射線被曝の影響」進化生物学誌, 近刊

OPEN

Strong effects of ionizing radiation from Chernobyl on mutation rates

SUBJECT AREAS:

ECOLOGICAL GENETICS

EVOLUTIONARY GENETICS

Received
25 September 2014

Accepted
16 December 2014

Published
10 February 2015

Correspondence and
requests for materials
should be addressed to
A.P.M. (anders.
moller@u-psud.fr)

Anders Pape Møller¹ & Timothy A. Mousseau²

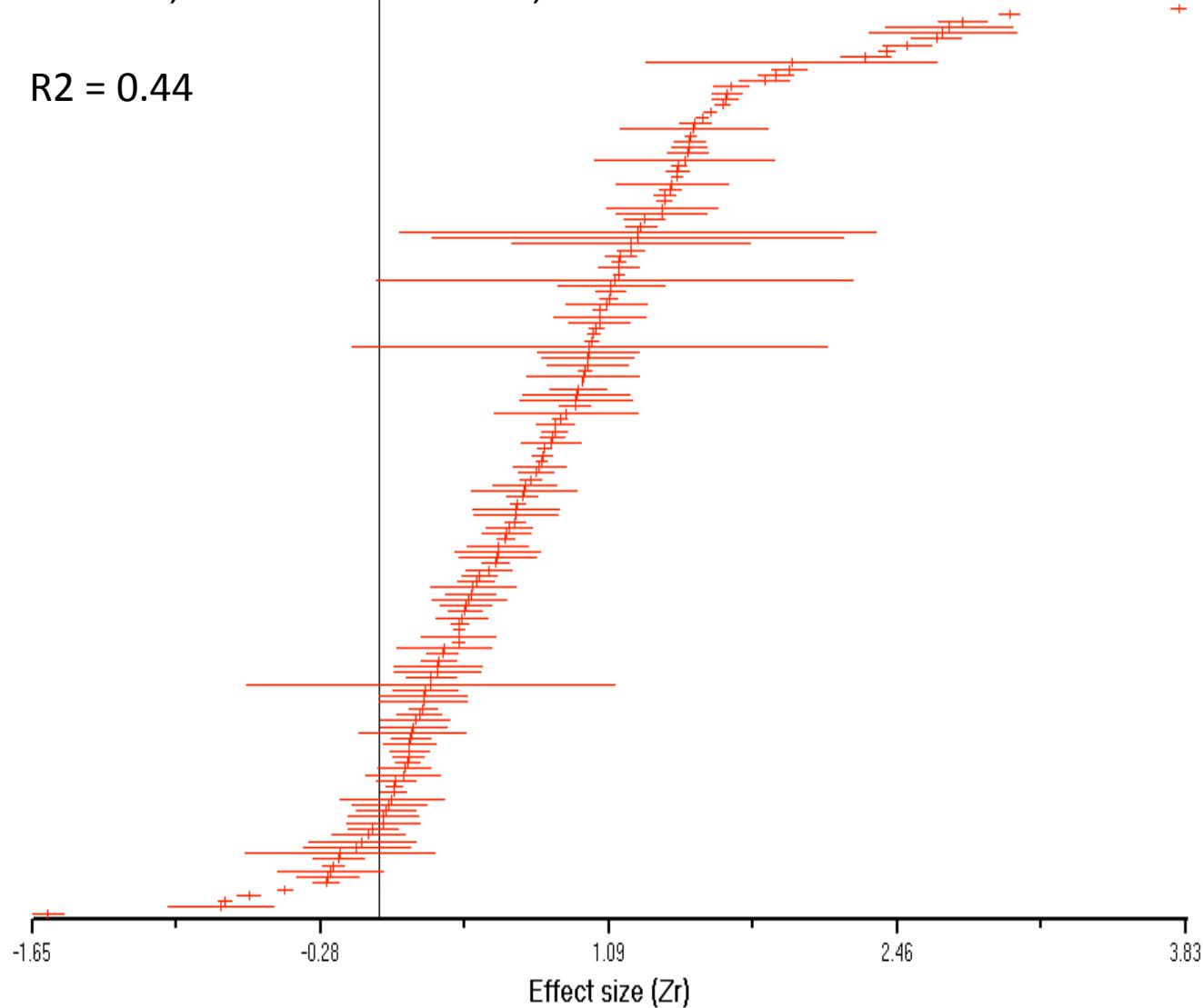
¹Laboratoire d'Ecologie, Systématique et Evolution, CNRS UMR 8079, Université Paris-Sud, Bâtiment 362, F-91405 Orsay Cedex, France, ²Department of Biological Sciences, University of South Carolina, Columbia SC 29208, USA.

In this paper we use a meta-analysis to examine the relationship between radiation and mutation rates in Chernobyl across 45 published studies, covering 30 species. Overall effect size of radiation on mutation rates estimated as Pearson's product-moment correlation coefficient was very large ($E = 0.67$; 95% confidence intervals (CI) 0.59 to 0.73), accounting for 44.3% of the total variance in an unstructured random-effects model. Fail-safe calculations reflecting the number of unpublished null results needed to eliminate this average effect size showed the extreme robustness of this finding (Rosenberg's method: 4135 at $p = 0.05$). Indirect tests did not provide any evidence of publication bias. The effect of radiation on mutations varied among taxa, with plants showing a larger effect than animals. Humans were shown to have intermediate sensitivity of mutations to radiation compared to other species. Effect size did not decrease over time, providing no evidence for an improvement in environmental conditions. The surprisingly high mean effect size suggests a strong impact of radioactive contamination on individual fitness in current and future generations, with potentially significant population-level consequences, even beyond the area contaminated with radioactive material.

チェルノブイリ: 放射線と突然変異、メタ解析

$E = 0.67$; 95% CI 0.59 to 0.73; $N = 151$

$R^2 = 0.44$

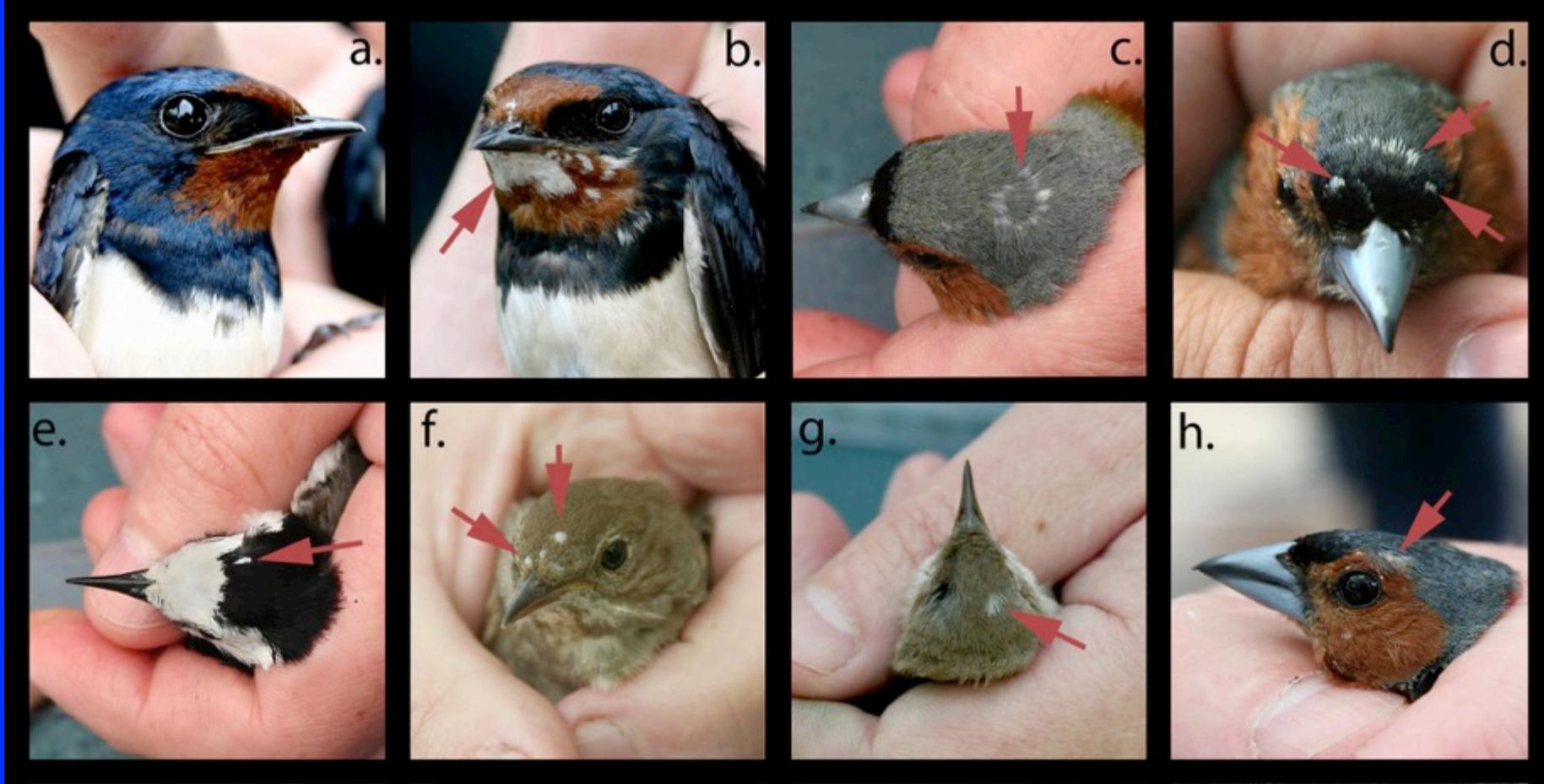


Chernobyl and Fukushima: What does the high mutation rate in contaminated areas tell us?

羽色の
異常

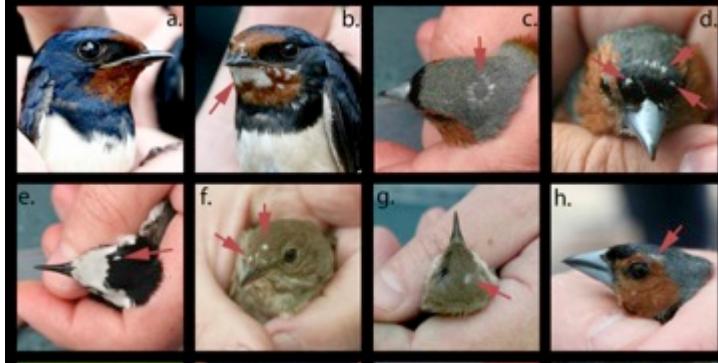
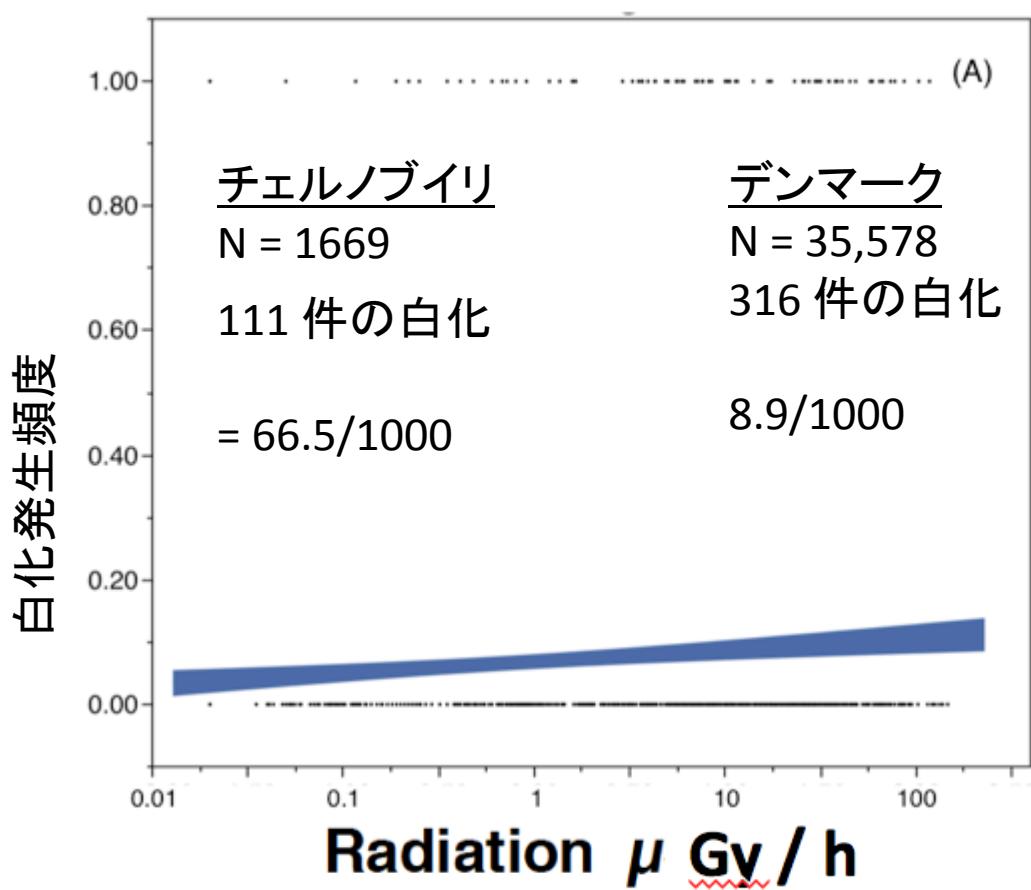


チエルノブイリでは部分白化の頻度が著しく高い



メラー, A.P., A.ボニソリ-アルカーティ, T.A.ムソー. 2013.
「チエルノブイリの自由生息鳥類における白化と腫瘍の高
頻度」突然変異研究

切尔诺布伊利的鸟类是高レベルの部分白化(「白斑」)を示す



メラー, A.P., A.ボニソリ-アルカーティ, T.A.ムソー. 2013「切尔ノブイリの自由生息鳥類における白化と腫瘍の高頻度」突然変異研究

Table 1

Nominal logistic regression models of albinism and tumours in relation to background radiation and species. R^2 was 0.20 and 0.06 for the two models. Odds ratios and their 95% confidence interval are also shown.

Variable	Chi-square	d.f.	P	Estimate (SE)	Odds ratio	95% CI for odds ratio
Albinism						
Species	146.97	61	<0.0001			
Radiation	33.82	1	<0.0001	0.660 (0.120)	0.309	0.162, 0.577
Tumours						
Radiation	15.06	1	0.0001	0.722 (0.210)	0.061	0.011, 0.271

福島のツバメ



Albinistic feathers
白化した羽

日本野鳥の会は、2012～13年に福島地域で15件の部分白化を報告



福島の牛の白斑



鳥類の精子の遊泳能力はチェルノブイリの放射能汚染地域で低下

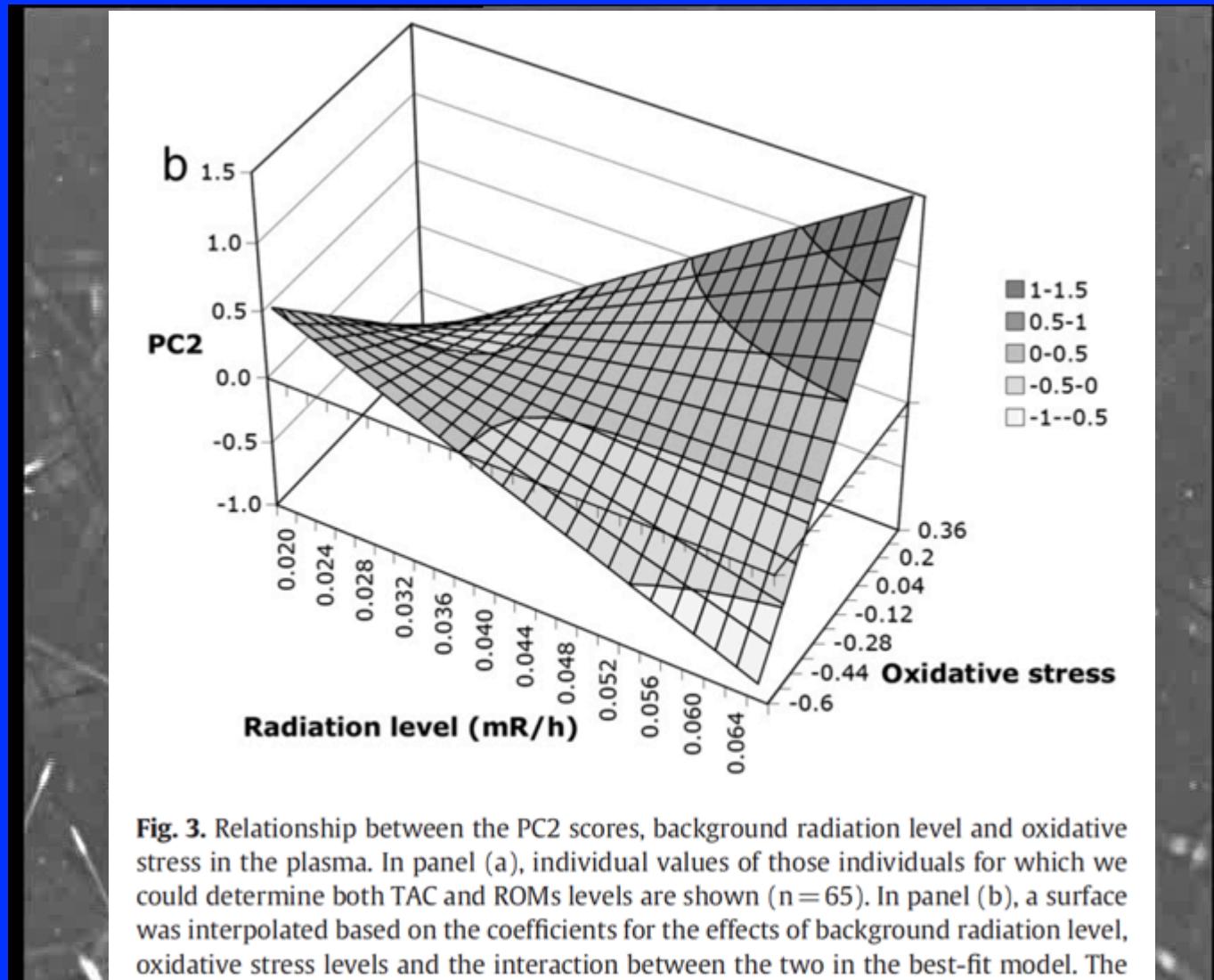
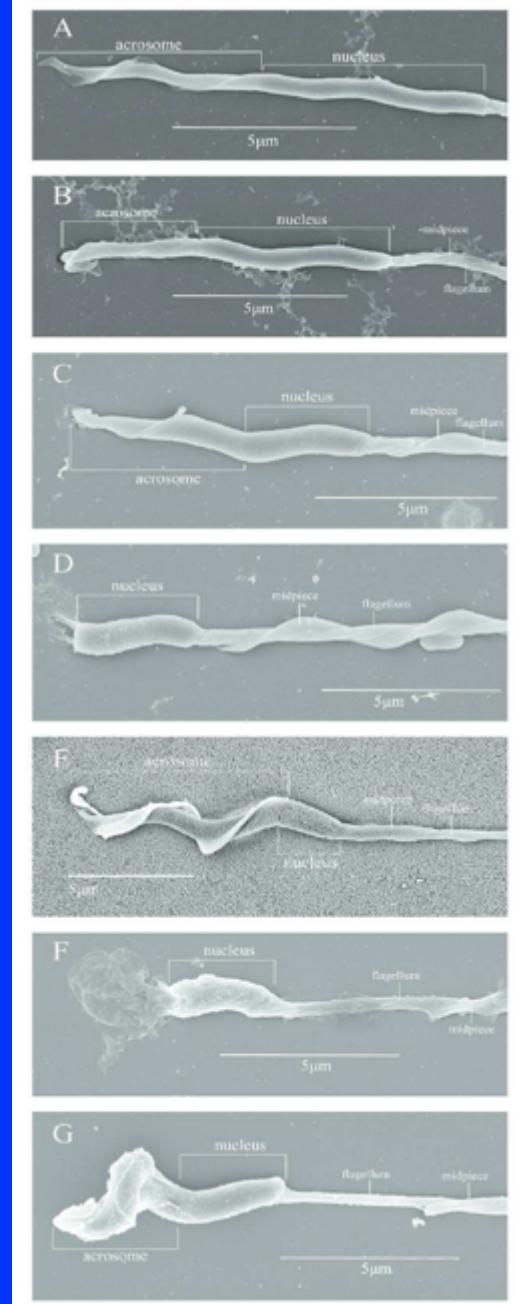
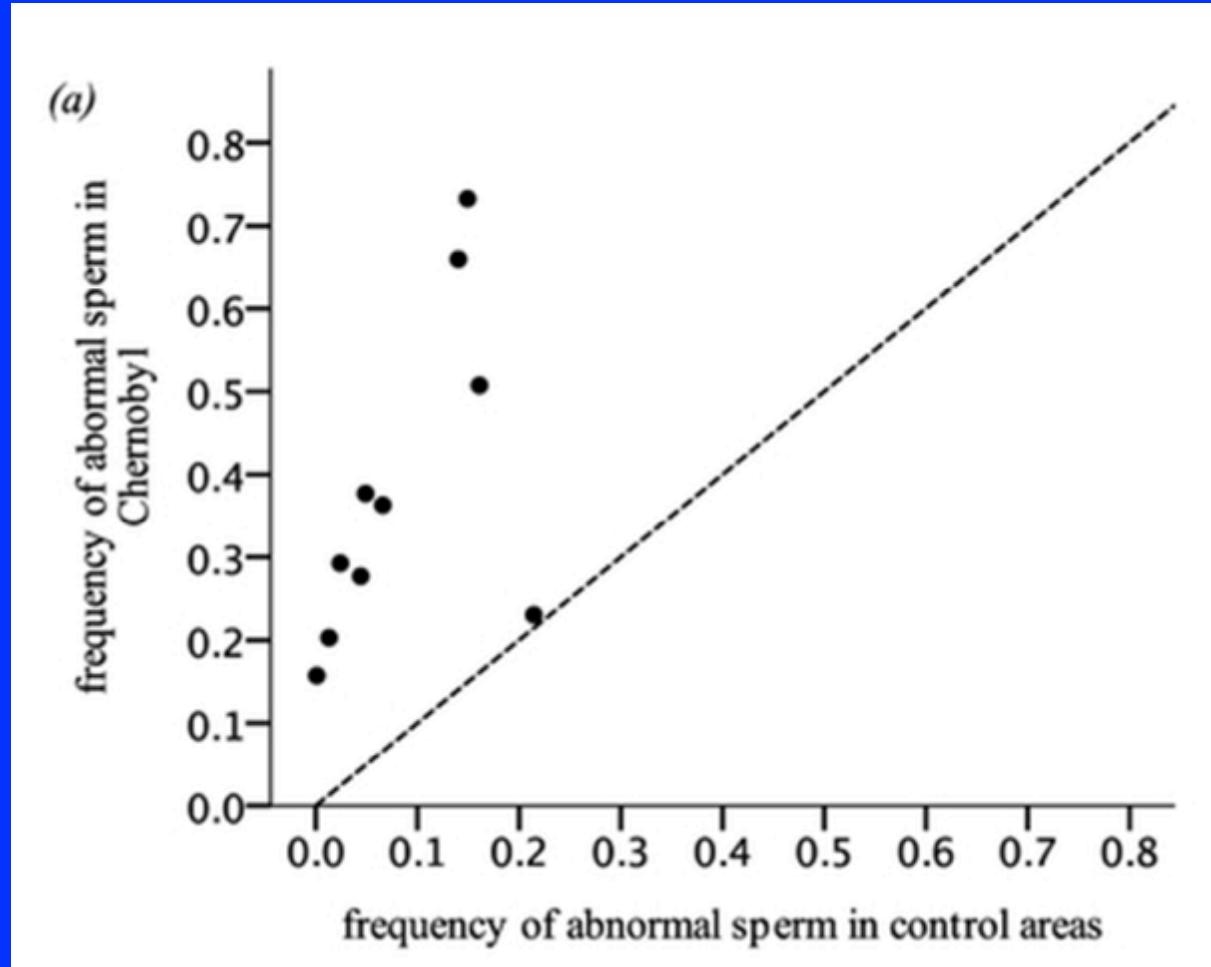


Fig. 3. Relationship between the PC2 scores, background radiation level and oxidative stress in the plasma. In panel (a), individual values of those individuals for which we could determine both TAC and ROMs levels are shown ($n = 65$). In panel (b), a surface was interpolated based on the coefficients for the effects of background radiation level, oxidative stress levels and the interaction between the two in the best-fit model. The

ボニソリ-アルカーティ, A., A.P. メラー, G. ルドルフセン, N. サイノ, M. カプリオリ, S. オステルミラー, T.A. ムゾー. 2011. 「ツバメ (*Hirundo rustica*) におけるプラズマ酸化状態に依存する精子遊泳行動に対する放射線の影響」比較生化学および生理学 - パート A - 分子および統合生理学, 159(2): 105-112.
DOI: 10.1016/j.cbpa.2011.01.018

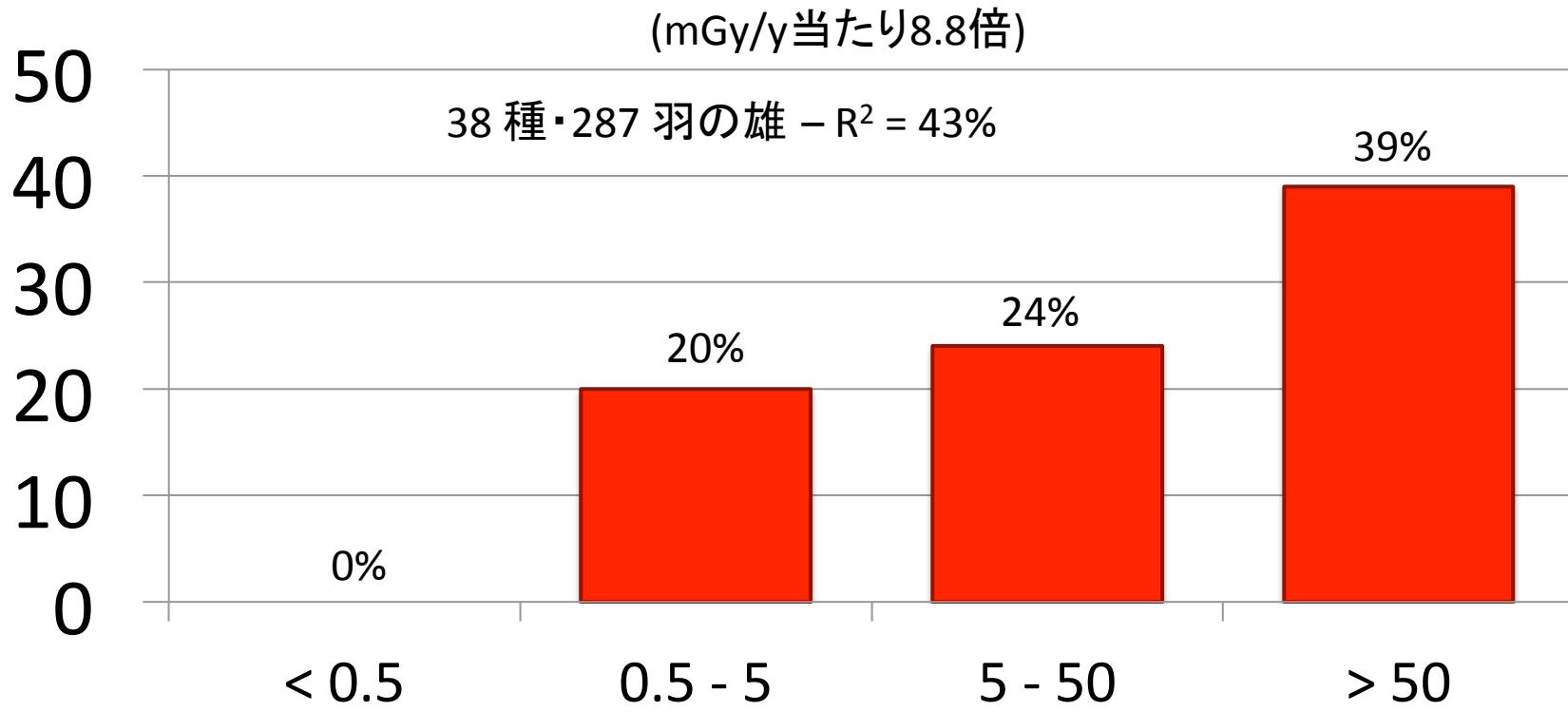
チェルノブイリの鳥類10種における異常精子の頻度

- 10種中9種がチェルノブイリで他地域よりも著しく高い異常率を示す



チェルノブイリにおける無精子または死亡した精子のみの雄の鳥類の割合

雄の無精子症の発生頻度 (%) とバックグラウンド放射線の相関 (uGy / 時)



腫瘍およびその他の発育異常



メラー, A.P., A.ボニソリ-アルカーティ, T.A. ムソー. 2013.「チエルノブイリの自由生息鳥類における白化と腫瘍の高頻度」突然変異研究

シジュウカラ (*Parus major*)

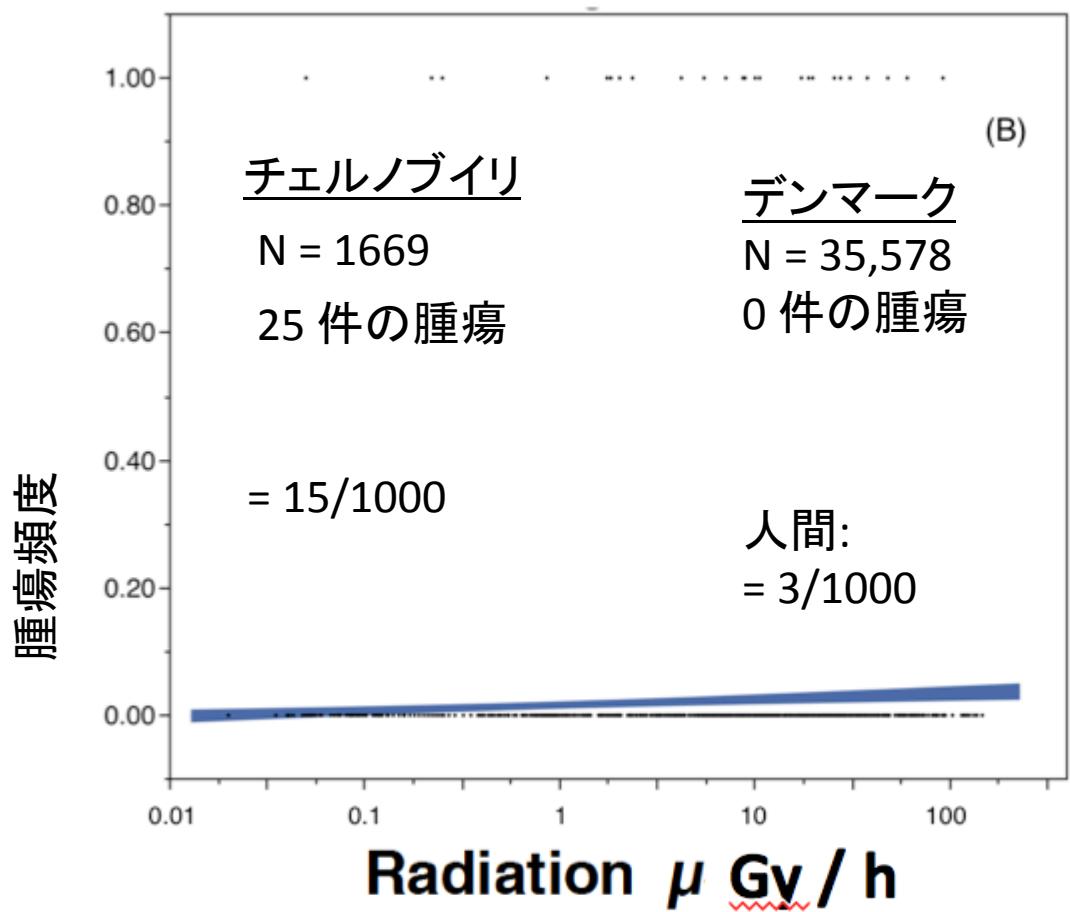


目の周りに腫瘍





チェルノブイリの鳥類は腫瘍の発生率が著しく高い



メラー, A.P., A.ボニソリ-アルカーティ, T.A. ムソー. 2013.
「チェルノブイリの自由生息鳥類における白化と腫瘍の高頻度」突然変異研究

Table 1

Nominal logistic regression models of albinism and tumours in relation to background radiation and species. R^2 was 0.20 and 0.06 for the two models. Odds ratios and their 95% confidence interval are also shown.

Variable	Chi-square	d.f.	P	Estimate (SE)	Odds ratio	95% CI for odds ratio
Albinism						
Species	146.97	61	<0.0001			
Radiation	33.82	1	<0.0001	0.660 (0.120)	0.309	0.162, 0.577
Tumours						
Radiation	15.06	1	0.0001	0.722 (0.210)	0.061	0.011, 0.271

原爆白内障

放射線によって目の中の水晶体(レンズ)
の後ろ中心部が白くにごり、視力が低
下する症状です。被爆して数か月から
数年後に多発しました。

A-bomb Cataracts

Radiation can cause the center posterior part
of the lens to become white and cloudy,
leading to loss of sight. Cataracts occurred
several months to several years after
exposure.



原爆白内障患者の目

1966(昭和41)年4月撮影 広島大学医学部眼科教室提供

爆心地から820メートルで被爆し、

両眼に白濁があります。

写真の中央にある黒い部分が原爆白内障に
によるにごりです。

The eye of an A-bomb cataract patient

Taken in April 1966

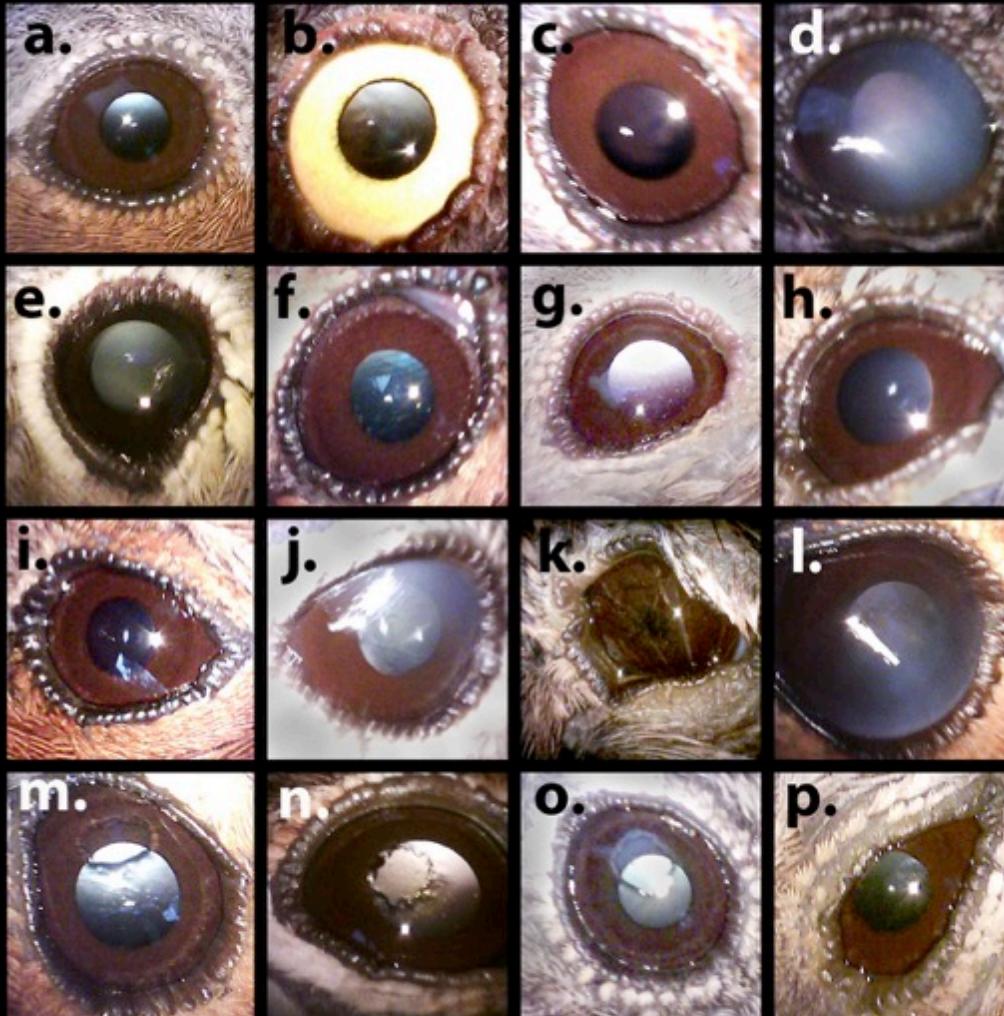
Courtesy of the Department of Ophthalmology, Faculty of Medicine,
Hiroshima University

The patient was exposed 820m from the hypocenter
and had white cloudiness in both eyes.

The dark area in the center of this photo is the cloudiness
caused by an A-bomb cataract.

Cataracts & Deformities

Bird Eyes of Chernobyl



(a.) Black cap, (*Sylvia atricapilla*), normal. (b.) Barred warbler, (*Sylvia nisoria*), normal. (c.) Black cap, (*Sylvia atricapilla*), very slight haze in cornea. (d.) Barn swallow (*Hirundo rustica*), significant haze on cornea. (e.) Chiffchaff (*Phylloscopus collybita*), slight haze on cornea. (f.) Chiffchaff, (*Phylloscopus collybita*), significant haze on cornea. (g.) Spotted fly catcher, (*Muscicapa striata*), partial haze on cornea. (h.) Chaffinch (*Fringilla coelebs*), slight haze on cornea. (i.) Chaffinch (*Fringilla coelebs*), clear eye but deformed eye lids. (j.) Tree pipit (*Anthus trivialis*), significant opacity of cornea. (k.) Barn swallow (*Hirundo rustica*), highly deformed eye lids and iris. (l.) Robin (*Erithacus rubecula*), significant haze on cornea. (m.) Robin (*Erithacus rubecula*), tear in cornea. (n.) Whinchat (*Saxicola rubetra*), tear on cornea. (o.) Spotted flycatcher (*Muscicapa striata*), tear on cornea. (p.) Chiffchaff (*Phylloscopus collybita*), deformed eye lids, haze on cornea.

All photos captured using an EyeQuick Digital Ophthalmoscope Camera.

Further information can be found at <http://cricket.biol.sc.edu/chernobyl/>

All photos (c) 2012 - T.A.Mousseau & A.P.Møller

チェルノブ イリの鳥類

Cataract score

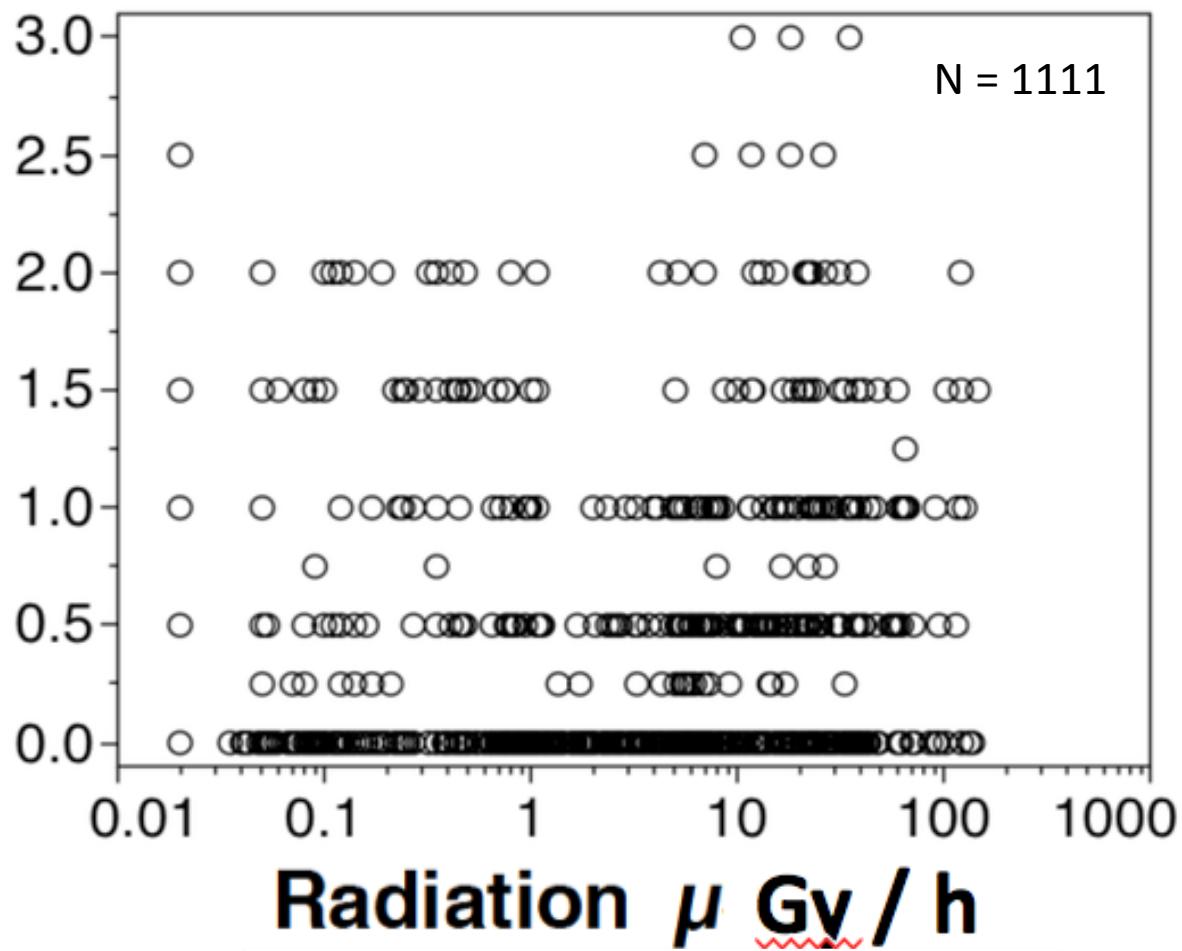
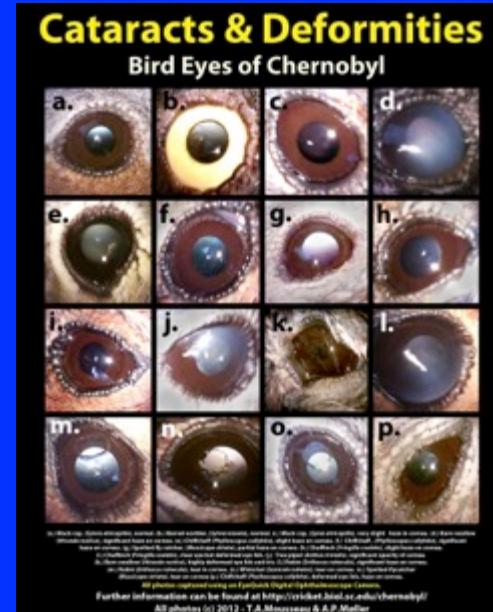


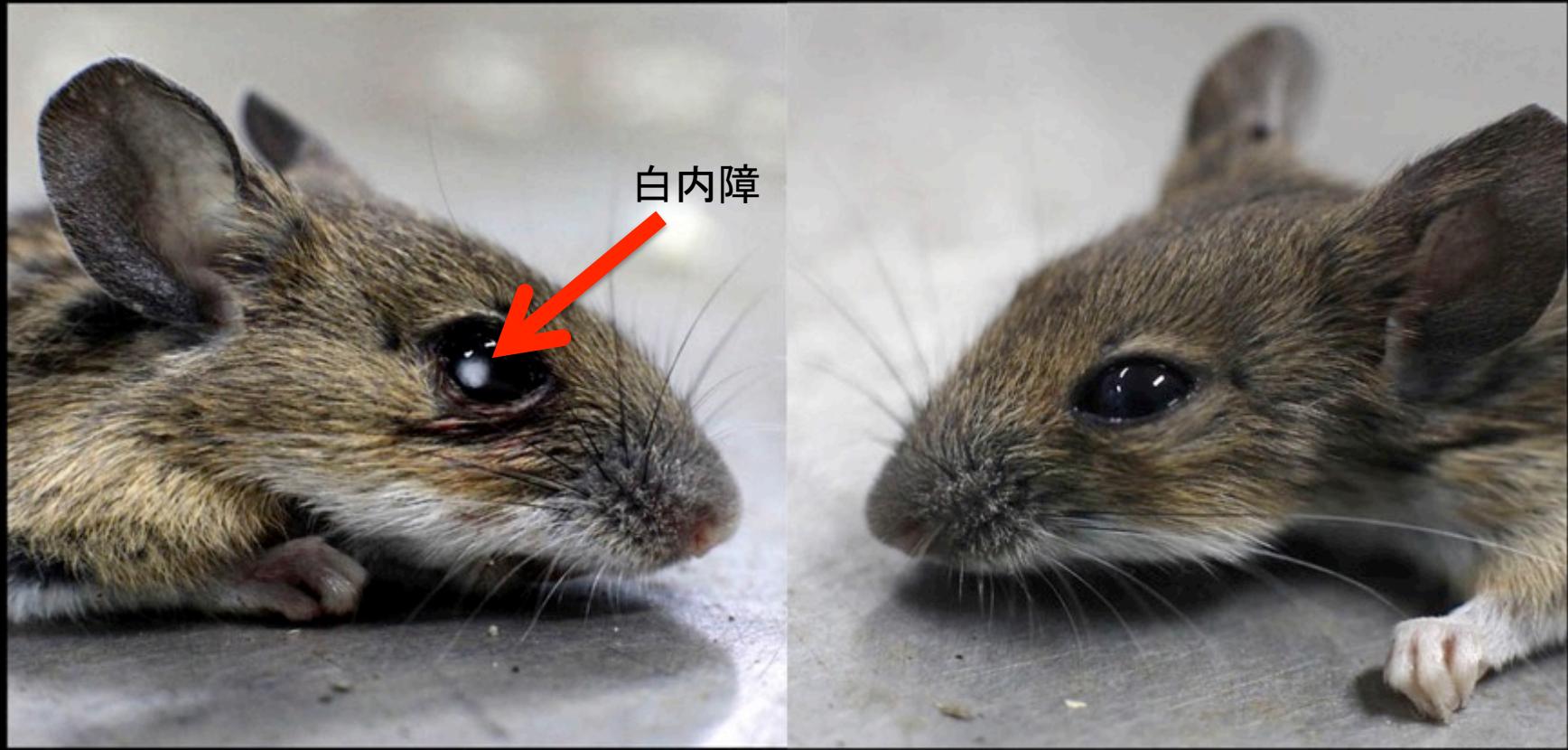
Table 1. Mixed model of cataracts in relation to species (random factor) and radiation. The random species effect accounted for a variance ratio of 0.0955 and 8.71% of the total variance.

Variable	d.f.	F	P	Estimate (SE)
Intercept	48.66, 1074		< 0.0001	
log Radiation	1, 1074	89.63	< 0.0001	0.131 (0.014)



ムソー, T.A., A.P. メラー.
2013.「チェルノブイリの鳥類における白内障の高頻度」 PLoS ONE

チェルノブイリのネズミの白内障



ムソー, メイプス, ボラツンジ, ムラー. 2013. 未発表データ

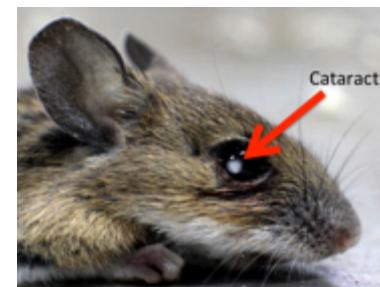
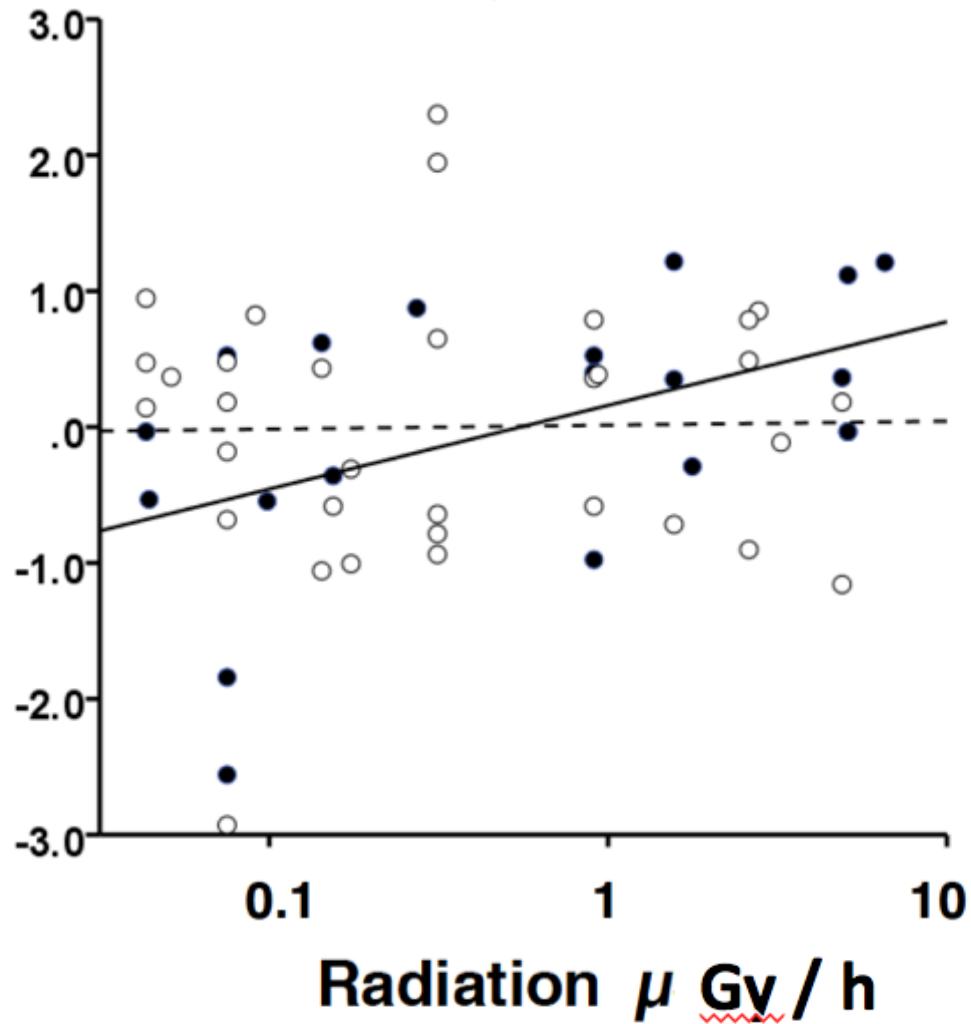


白内障

チェルノブイリのハタネズミ – 2013年

Cataracts
(corrected
by age)

● Females: $R^2 = 0.20$ n = 20 p = 0.026
○ Males: $R^2 = -0.03$ n = 33 p = 0.913



Mental Retardation Following *In Utero* Exposure to the Atomic Bombs of Hiroshima and Nagasaki¹

William J. Blot, Ph.D., and Robert W. Miller, M.D.

ABSTRACT—The prevalence of mental retardation in children tested at 17 years of age who had been exposed *in utero* to the atomic bombs of Hiroshima and Nagasaki was studied in relation to the most recent estimate of radiation dose received. Significant increases at doses greater than 50 rads in Hiroshima and 200 in Nagasaki were found, with the risk of mental retardation generally rising directly with increasing dose. The lower dose-effect in Hiroshima may have been due to irradiation by neutrons which were virtually absent in Nagasaki.

INDEX TERMS: Mental Deficiency • Radiations, Injurious Effects, embryonal, fetal

Radiology 106:617-619, March 1973

EARTH NEWS

REPORTING LIFE ON EARTH

[Earth News](#)

[Contact us](#)

[Who we are](#)

Related BBC sites

[Earth Explorers](#)

[Wildlife Finder](#)

[BBC News](#)

[Weather](#)

Page last updated at 09:05 GMT, Saturday, 5 February 2011

[E-mail this to a friend](#)

[Printable version](#)

Chernobyl birds are small brained

By Matt Walker
Editor, Earth News



Marsh warblers are one of the species affected

Birds living around the site of the Chernobyl nuclear accident have 5% smaller brains, an effect directly linked to lingering background radiation.

脳の小さい
鳥は若死にし、
IQも低いと
思われる

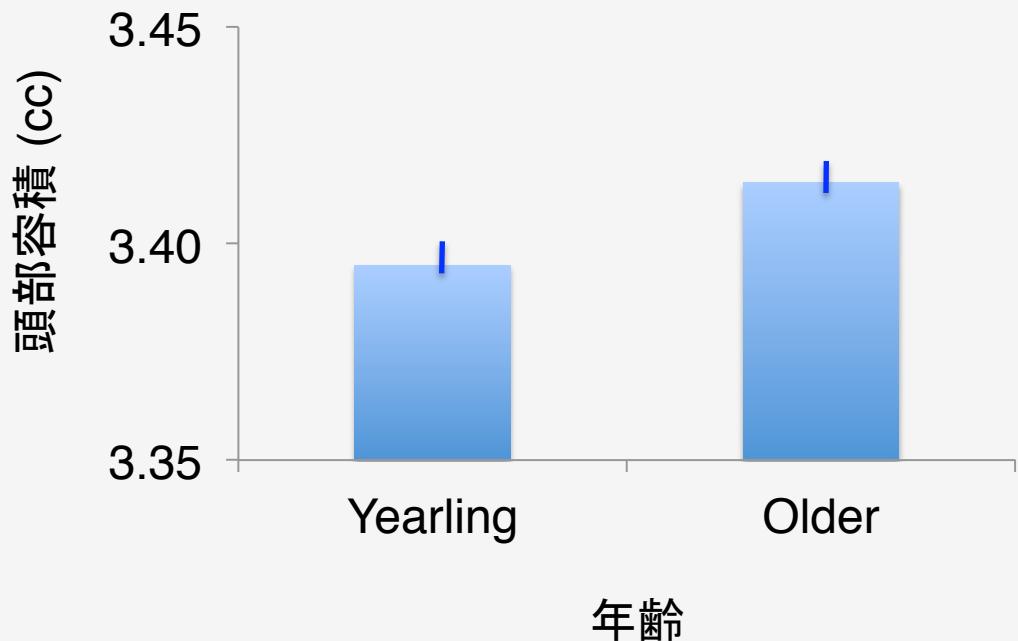
チェルノブイリの「汚染」地域の鳥類は有意に脳が小さい

	Sum of squares	df	F	P	Slope (SE)
Species	1.008	32	13.93	<0.0001	
Radiation [Species]	0.146	33	1.96	0.0015	
Body mass	0.011	1	4.94	0.027	0.140 (0.063)
Keel length	0.008	1	3.59	0.059	0.177 (0.094)
Error	1.013	448			

The model had the statistics $F_{67,448} = 171.15$, $r^2 = 0.96$, $P < 0.0001$.
doi:10.1371/journal.pone.0016862.t001

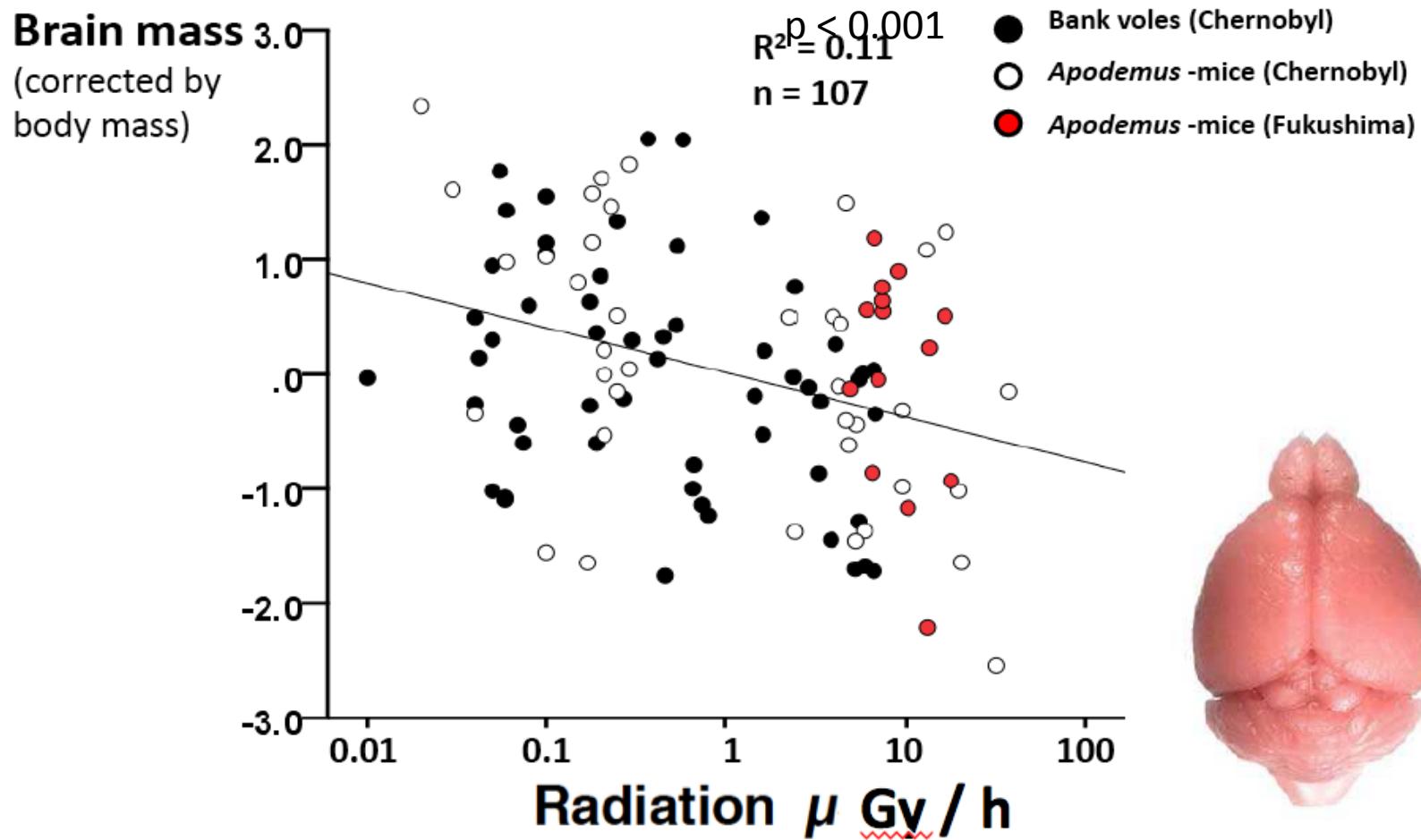
小頭症の淘汰

$F = 9.92$, $df = 1,284$, $P = 0.0018$



(メラーら, PLoS One 6(2):e16862, 2011)

チェルノブイリと福島の放射能汚染地域の齧歯動物は脳が小さい



ファイアバグ

(*Pyrrhocoris apterus*)

「覆面のような昆虫」



チェルノブイリのファイアバグの突然変異



Mousseau & Möller. Chernobyl Firebugs (c) April 2011



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

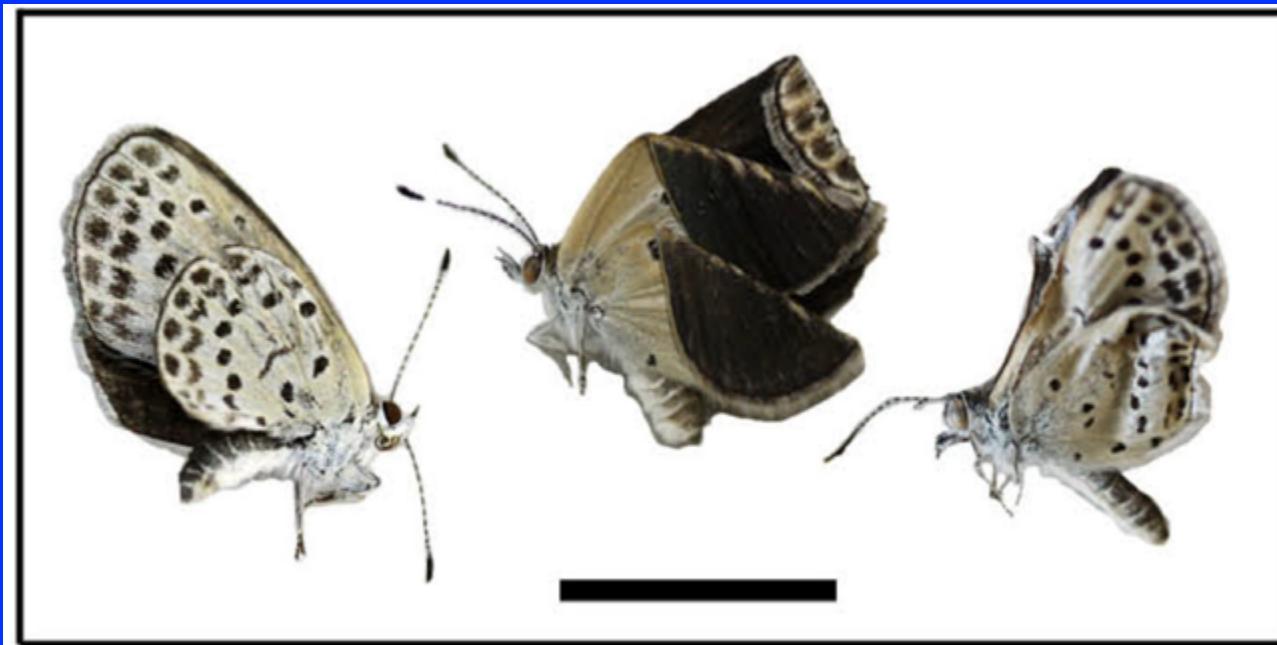
SUBJECT AREAS:

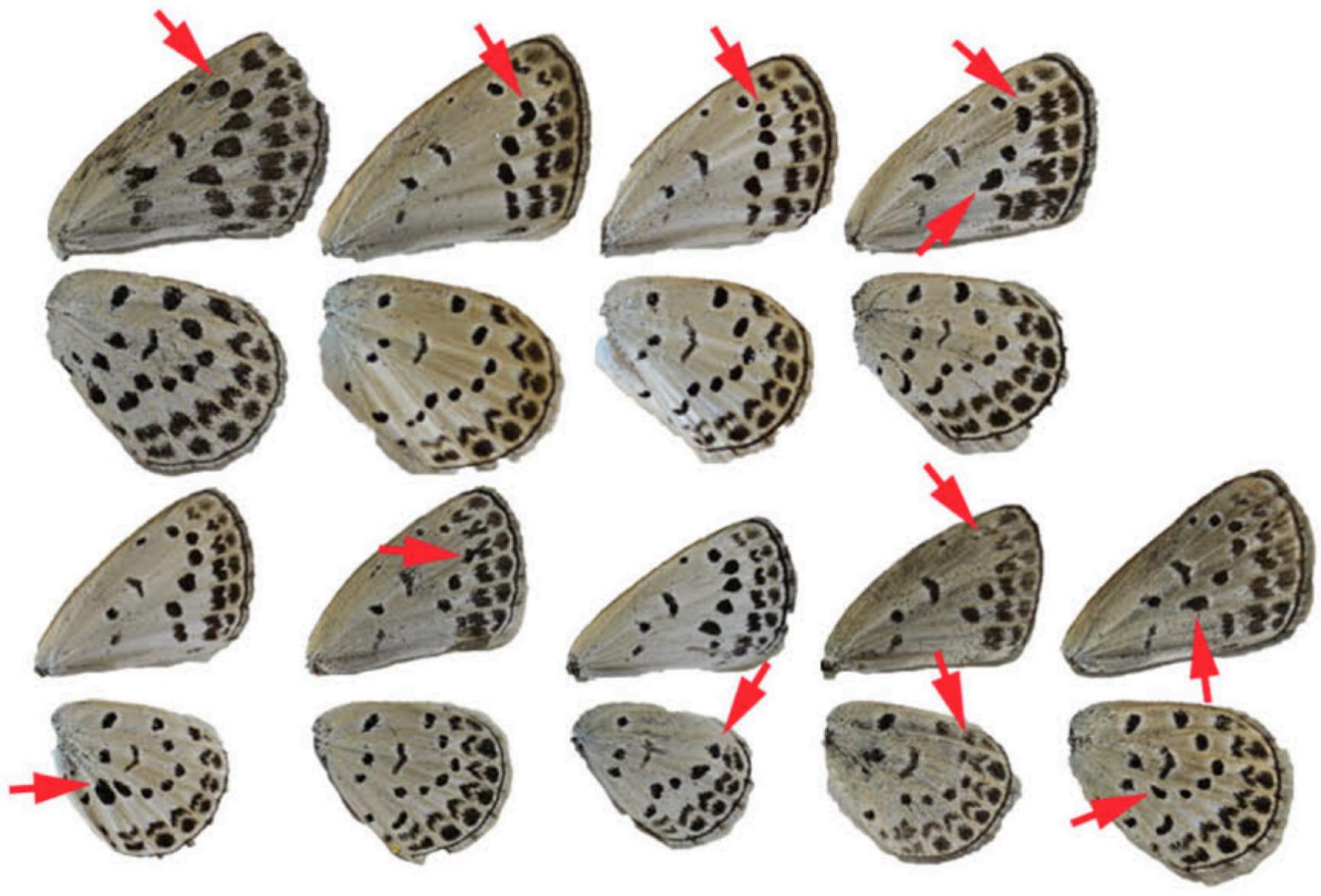
ENVIRONMENTAL
SCIENCES

ECOLOGY

BIODIVERSITY

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





チェルノブイリのヨーロッパアカマツ (*Pinus sylvestris*) の異常



ムゾー, T.A., S.M. ウエルチ, I. チゼヴスキ, O. ボンダレンコ, G. ミリネヴスキ, D. テデスチ, A.ボニソリ-アルカティ,
ムラー, A.P., 2013.「ヨーロッパアカマツ (*Pinus sylvestris*) における放射線被曝の程度を示す樹木の年輪」
樹木 - 構造と機能, DOI 10.1007/s00468-013-0891-z

Chernobyl Pines - T.A. Mousseau (c) 2012

放射線と樹木の生長



OPEN

Morphological defects in native Japanese fir trees around the Fukushima Daiichi Nuclear Power Plant

Received: 23 February 2005
Accepted: 20 July 2005
Published: 18 August 2005

Yoshito Watanabe^{a,*}, San'ei Ichikawa^a, Masahide Kubota^a, Junko Hoshino^b,
Yoshihisa Kubota^a, Kouichi Maruyama^a, Shoichi Fuma^a, Isao Kawaguchi^a,
Vasyl I. Yoschenko^a & Satoshi Yoshida^a

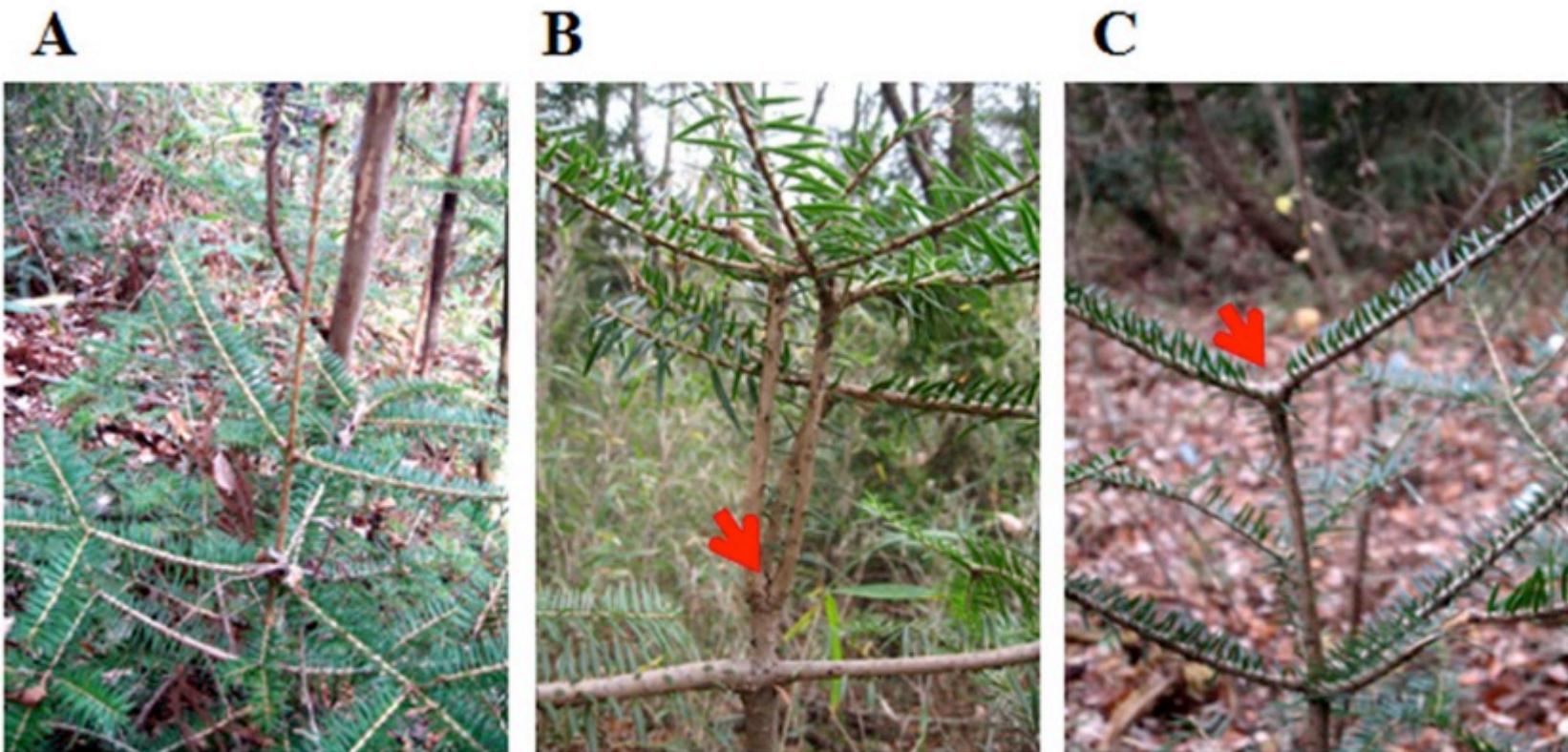
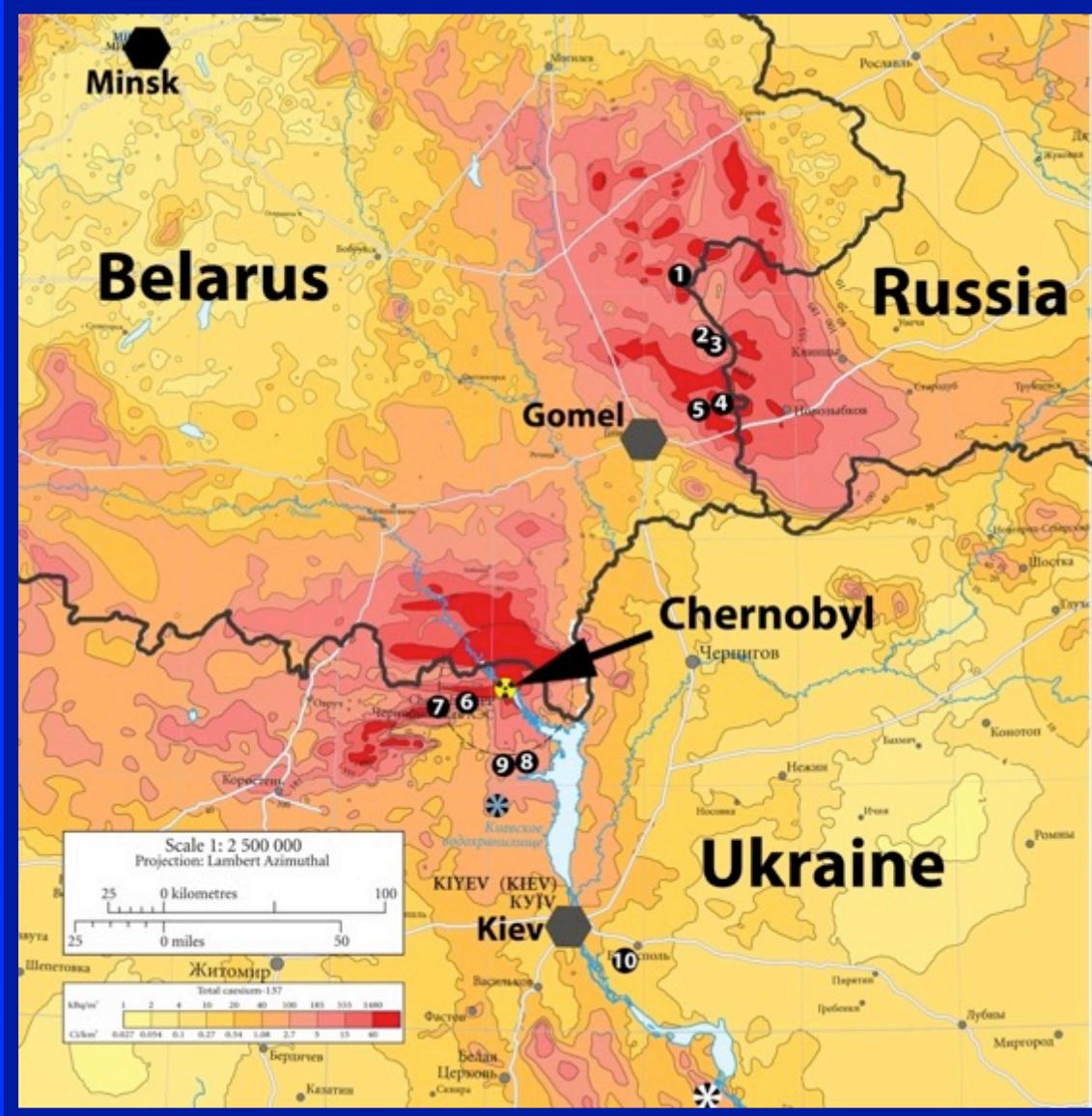


Figure 3. Representative morphological defects in Japanese fir trees. Arrowheads indicate the position of deleted leader shoot. (A) normal tree (S3), (B) defected tree (vertical forking, S1), (C) defected tree (horizontal forking, S2).

動物の個体数と生物多様性に対する 放射線の影響



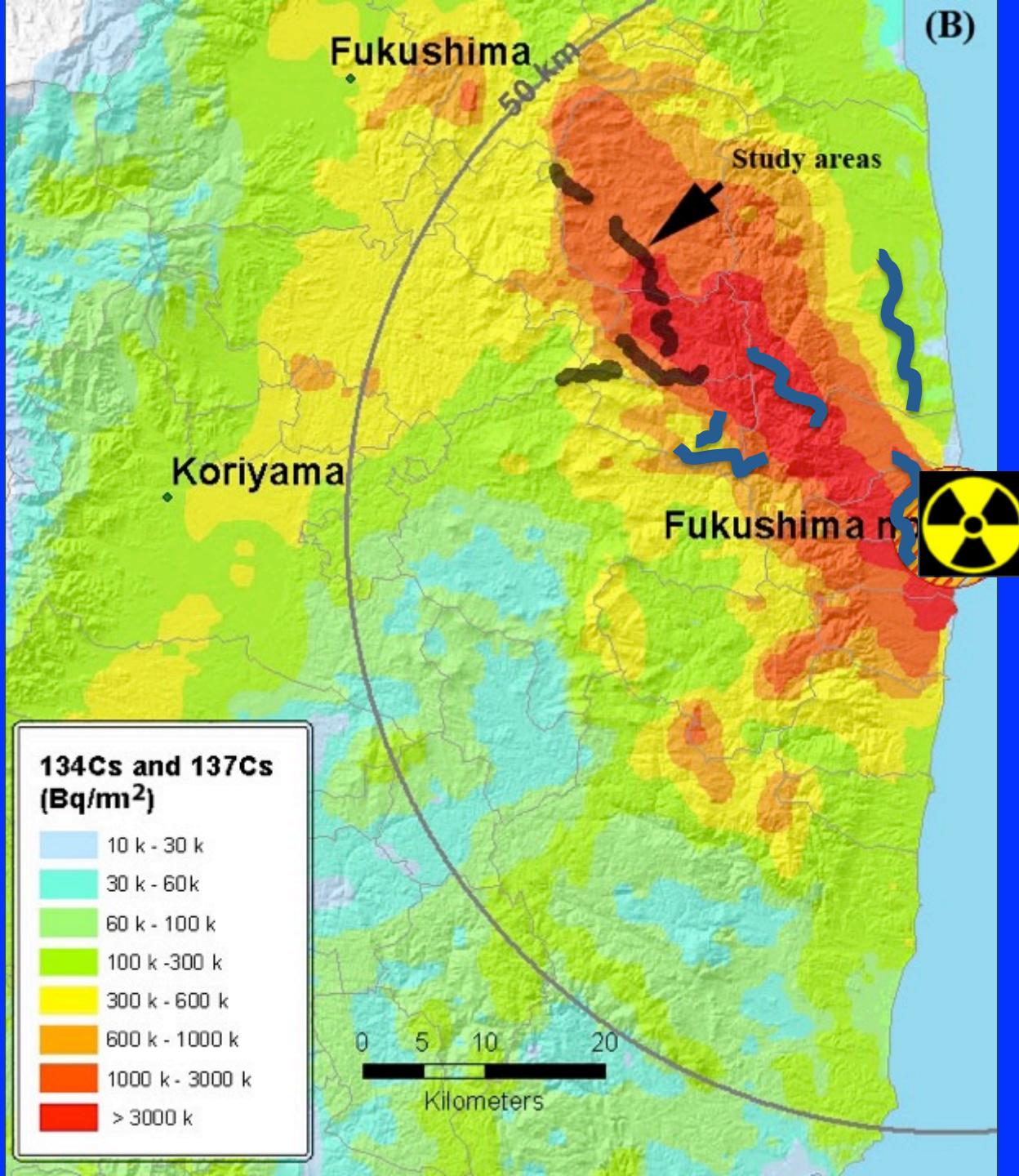
ほとんどの調査を最も高濃度の汚染地域で行い、また、対照地域でも調査を実施した。沈着が不均一なため、放射線、汚染源からの距離、個体数と生物多様性に影響を及ぼすその他の環境要因を区別できる。



- ウクライナとベラルーシの約300箇所で鳥類と昆虫の調査を896回実施

対照群:

- イタリア(ミラノ)
- スペイン(バダホス)
- デンマーク(オールボー)
- ウクライナ



個別の地点400箇所で調査した鳥類と昆虫は、現在までに合計1500インベントリー

大量反復生物インベントリー法
(福島で1500インベントリー、チェルノブイリで896インベントリー)

+

多数の環境変数を測定

(例、気象学、水文学、地質学、植物群落、生息環境タイプ
土地利用歴、植物被覆の量とタイプ、海拔、
気象条件、時間、日付、直近の水源への距離、等)

+

居住環境放射線レベルの現場計測

+

地理情報システム

+

多変量統計処理

=

個体群に対する放射線の影響予測モデル

個体数に対する放射線の影響に関する近年の研究

Journal of Applied
Ecology 2007
44, 909–919

Determinants of interspecific variation in population declines of birds after exposure to radiation at Chernobyl

A. P. MØLLER^{*} and T. A. MOUSSEAU[†]

^{*}Laboratoire de Parasitologie Evolutive, CNRS UMR 7103, Université Pierre et Marie Curie, Bât. A, 7ème étage, 7 quai St Bernard, Case 237, F-75252 Paris Cedex 05, France; and [†]Department of Biological Sciences, University of South Carolina, Columbia, SC 29208, USA

Ecological Indicators 11 (2011) 424–430

Contents lists available at ScienceDirect

Ecological Indicators

journal homepage: www.elsevier.com/locate/ecolind



Original article

Efficiency of bio-indicators for low-level radiation under field conditions

Anders Pape Møller^{a,b,*}, Timothy A. Mousseau^c

^aLaboratoire d'Ecologie, Systématique et Evolution, CNRS UMR 8079, Université Paris-Sud, Bâtiment 362, F-91405 Orsay Cedex, France

^bCenter for Advanced Study, Drammensveien 78, NO-0271 Oslo, Norway

^cDepartment of Biological Sciences, University of South Carolina, Columbia, SC 29208, USA

ARTICLE INFO

Article history:

Received 5 January 2010

Received in revised form 15 June 2010

Accepted 23 June 2010

Keywords:

Bio-indicators

Chernobyl

Low-level radiation

Radiation

Radioactive contamination

ABSTRACT

Relatively little is known about biological consequences of natural variation in background radiation, and variation in exposure due to nuclear accidents, or even the long term consequences to human health stemming from the over-use of nuclear medicine and imaging technologies (i.e. CAT scans). This realization emphasizes the need for assessment and quantification of biological effects of radiation on living organisms. Here we report the results of an environmental analysis based on extensive censuses of abundance of nine animal taxa (spiders, dragonflies, grasshoppers, bumblebees, butterflies, amphibians, reptiles, birds, mammals) around Chernobyl in Ukraine and Belarus during 2006–2009. Background levels of radiation explained 1.5–26.5% of the variance in abundance of these nine taxa, birds and mammals having the strongest effects, accounting for a difference of a factor 18 among taxa. These effects were retained in analyses that accounted for potentially confounding effects. Effect size estimated as the amount of variance in abundance explained by background level of radiation was highly consistent among years, with weaker effects in years with low density. Effect sizes were greater in taxa with longer natal dispersal distances and in taxa with higher population density. These results are consistent with the hypotheses that costs of dispersal (i.e. survival) were accentuated under conditions of radioactive contamination, or that high density allowed detection of radiation effects. This suggests that standard breeding bird censuses can be used as an informative bio-indicator for the effects of radiation on abundance of animals.

© 2010 Elsevier Ltd. All rights reserved.

1. Introduction

The biological consequences of natural variation in background radiation levels remain largely unexplored. The average annual worldwide radiation dose is around 2.4 mSv, with a typical range

radioactive material. These include at least three in the former Soviet Union, Three Mile Island in the US and nuclear test sites in the US, Russia, Algeria, China, India, Australia, and the Pacific. To date, the single largest radiation accident is that at Chernobyl on 26 April 1986 that resulted in the emission of at least 9.35×10^3

biology
letters
Community ecology

Biol. Lett. (2007) 3, 483–486
doi:10.1098/rsbl.2007.0226
Published online 14 August 2007

Since 1990, we have collected information suggesting a reduced and continuously declining abundance of birds in the most contaminated areas. This prompted us to conduct standard censuses in relation to local levels of radiation.

During May to June 2006, we censused breeding birds using standard point count census (Møller 1983; Bibby *et al.* 2005), while simultaneously recording levels of background radiation at these forest sites. Species richness and abundance of animals can be affected by numerous environmental factors other than radiation, and, therefore, we controlled statistically for a range of potentially confounding variables that could affect our assessment of the relationship between species richness and abundance of animals and the level of background radiation by including variables reflecting habitat, soil type, weather and several other factors in the statistical models. Most radiation around Chernobyl is currently in the top-most layer of the soil (Shestopalov 1996; European Union 1998), where soil invertebrates are abundant. Therefore, we predicted that the abundance of bird

Species richness and abundance of forest birds in relation to radiation at Chernobyl

A. P. Møller^{1,*} and T. A. Mousseau²

¹Laboratoire de Parasitologie Evolutive, CNRS UMR 7103, Université Pierre et Marie Curie, Bâtiment A, 7ème étage, 7 quai St Bernard, Case 237, 75252 Paris Cedex 05, France

²Department of Biological Sciences, University of South Carolina, Columbia, SC 29208, USA

*Author for correspondence (amoller@smv.jussieu.fr).

The effects of low-level radiation on the abundance of animals are poorly known, as are the effects on ecosystems and their functioning.

J Ornithol (2009) 150:239–246

DOI 10.1007/s10336-008-0343-5

ORIGINAL ARTICLE

Reduced abundance of raptors in radioactively contaminated areas near Chernobyl

Anders Pape Møller · Timothy A. Mousseau

Biological Conservation 144 (2011) 2787–2798



Contents lists available at SciVerse ScienceDirect

Biological Conservation

journal homepage: www.elsevier.com/locate/biocon

Review

Conservation consequences of Chernobyl and other nuclear accidents

A.P. Møller^{a,*}, T.A. Mousseau^b

^aLaboratoire d'Ecologie, Systématique et Evolution, CNRS UMR 8079, Université Paris-Sud, Bâtiment 362, F-91405 Orsay Cedex, France

^bDepartment of Biological Sciences, University of South Carolina, Columbia, SC 29208, USA



Ecological differences in response of bird species to radioactivity from Chernobyl and Fukushima

A. P. Møller · T. A. Mousseau · I. Nishiumi ·
K. Ueda



OPEN

SUBJECT AREAS:

ECOLOGICAL

EPIDEMIOLOGY

ECOPHYSIOLOGY

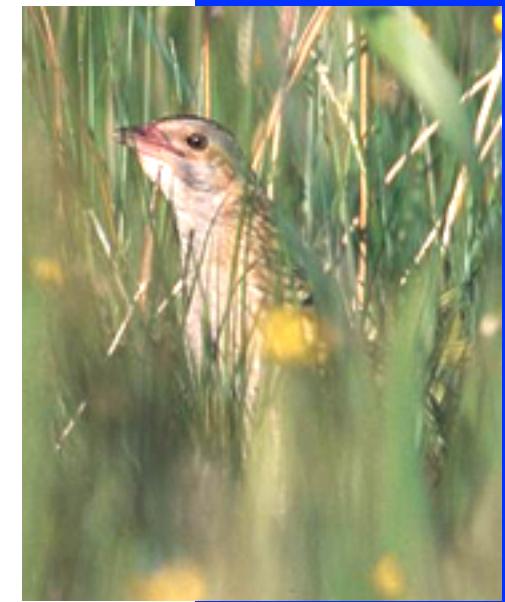
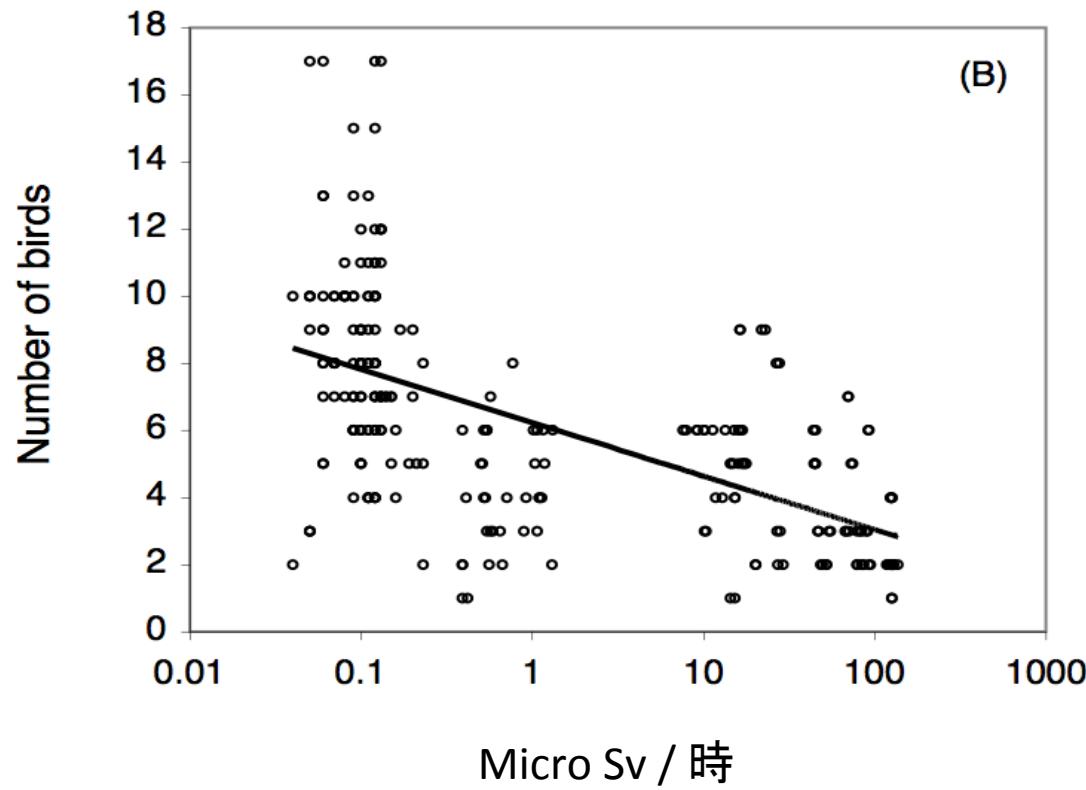
Abundance and genetic damage of barn swallows from Fukushima

A. Bonisoli-Alquati¹, K. Koyama², D. J. Tedeschi³, W. Kitamura⁴, H. Sukuzi⁵, S. Ostermiller¹, E. Arai⁶,
A. P. Møller⁷ & T. A. Mousseau¹

Cumulative effects of radioactivity from Fukushima on the abundance and biodiversity of birds

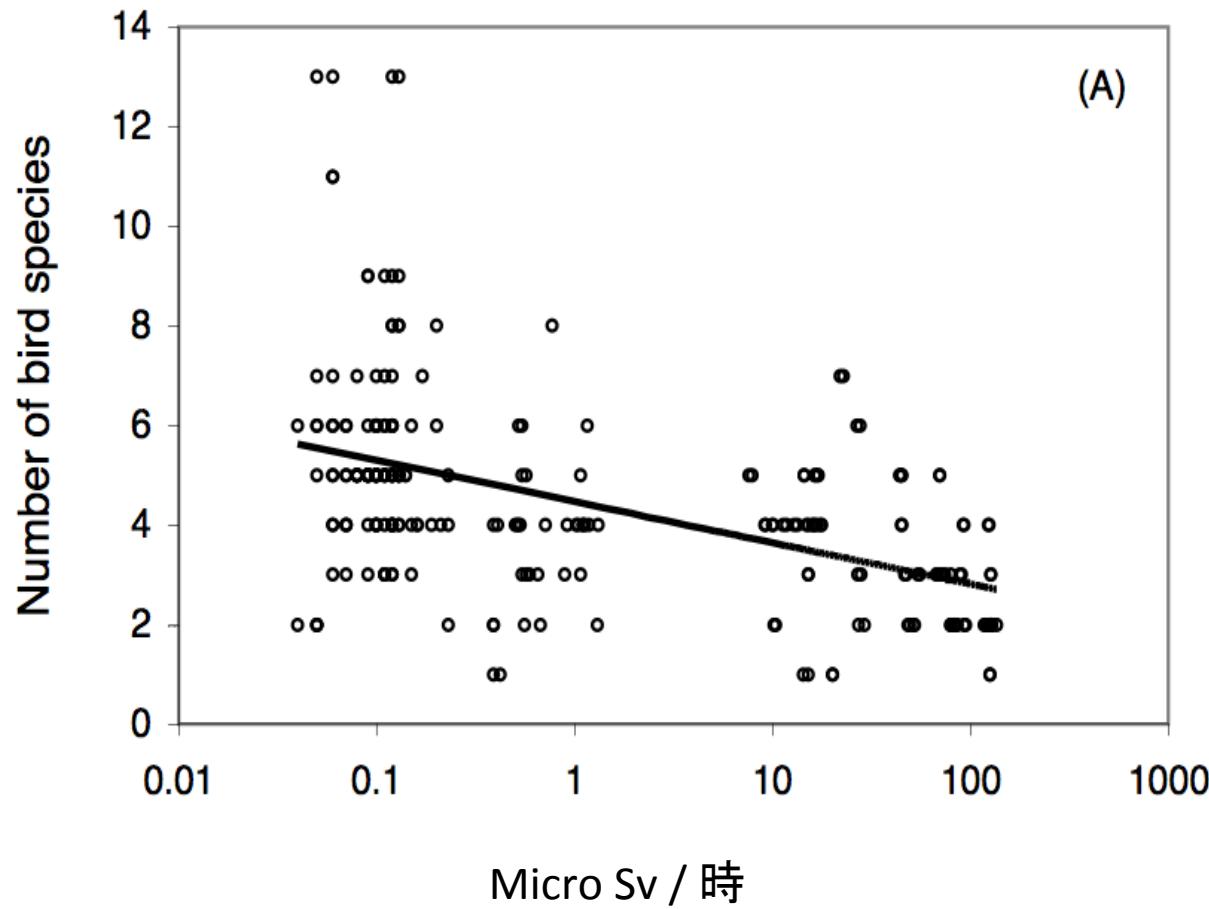
A. P. Møller¹ · I. Nishiumi² · T. A. Mousseau^{3,4}

鳥類の個体数は66%以上減少



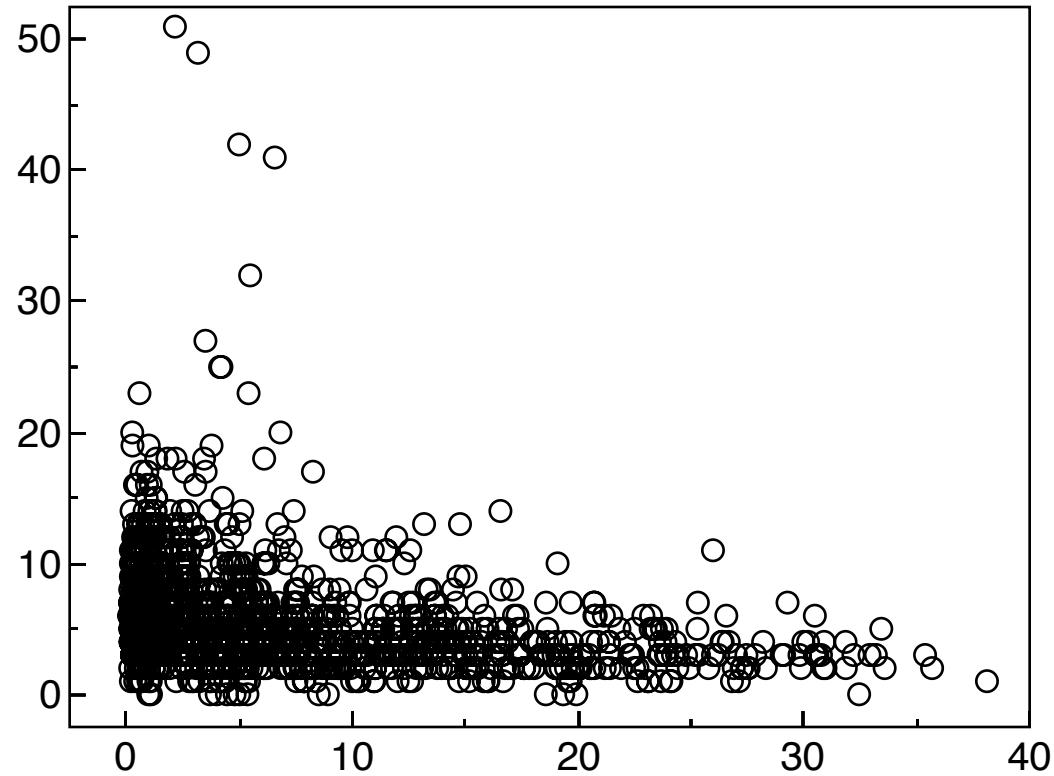
鳥類の生物多様性は50%以上減少

最も影響を受けているのは、長距離渡り鳥と明るい色の鳥



個体数と放射線 – 2011～14年にかけての福島の鳥類

鳥類の個体数

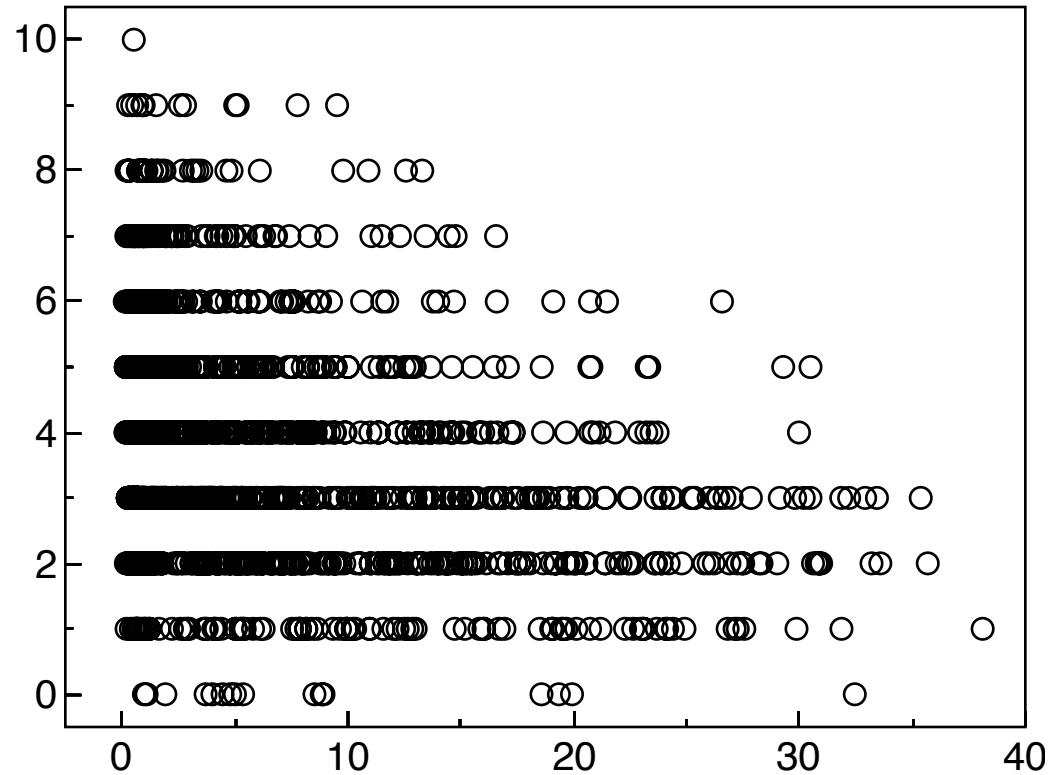


$$\chi^2 = 241.93, P < 0.0001$$

バックグラウンド放射線 ($\mu\text{Sv}/\text{時}$)

種数と放射線 – 2011~14 年にかけての福島の鳥類

種数



「非汚染」地 - < 0.6 $\mu\text{Sv}/\text{時}$



汚染地 – 約 30 usv/時



これらすべてが意味すること

- 政府の報告に反し、現在、チェルノブイリと福島の事故の低線量被曝に起因する個体、個体群、種、生態系機能に対する帰結(すなわち、損傷)を示す豊富な情報がある。

チェルノブイリの野生生物研究から得られた主な知見:

- 1) 調査した生物の大部分で、放射性汚染物質への被曝レベルに正比例して、遺伝子損傷率が有意に上昇している
- 2) 調査した生物の多くで、汚染レベルに正比例して、奇形率および発育異常率が上昇している
- 3) 調査した生物の多くで、出生率が低下している…
- 4) 調査した生物の多くで、寿命が短くなっている…
- 5) 調査した生物の多くで、個体群の規模が縮小している…
- 6) 生物の多様性が有意に縮小している…多くの種が局所的に絶滅している。

推論ではあるがより大きな潜在的影響:

- 7) 突然変異が世代から世代に伝えられ、経時的蓄積の兆候が見られる
- 8) 突然変異は放射能汚染地域から、その外の被曝していない個体群に移動している(付随的損傷)

解決策は何か？放射性汚泥を集めて、巨大な山でもつくればいいのだろうか？



実行すべきこと

- ・ 我々は現在、環境における低線量被曝に関する広範な生物学的帰結を完全に記録する、国際的な科学的取組みに資金を提供するよう働きかけている。
- ・ こうした取組みは、長期的影響を予測するという目的を持ち、現在の状況を厳密かつ公平に分析する独立した科学者が主導する必要がある。

刊行物、写真、報道

- [http://cricket.biol.sc.edu/chernobyl/
Chernobyl Research Initiative/
Publications.html](http://cricket.biol.sc.edu/chernobyl/Chernobyl_Research_Initiative/Publications.html)

