# The 68th Annual Meeting of the Society of Chromosome Research in 2017

一般財団法人 染色体学会 第 68 回(2017 年度)年会

Think and discuss in Hiroshima: the roles of chromosome research on the impacts of irradiation exposure

広島の地で考える、放射線の被ばくと染色体研究の役割



# Sex ratio disequilibria in new born babies after Chernobyl accident

チェルノブイリ(原発)事故後に生まれた 新生児における性比の偏り

> アラン デュボア フランス国立自然史博物館

### Alain Dubois

Muséum national d'Histoire naturelle, Paris Département de Systématique & Evolution UMR 7205 Origine, Structure & Evolution de la Biodiversité

### Color anomalies in natural populations of amphibians 両生類の天然集団にみられる体色の変異(多様性)









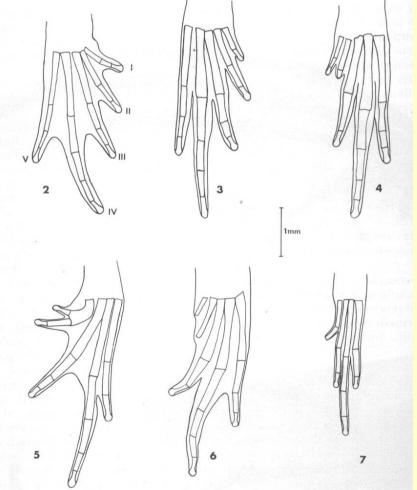


### Limb anomalies in natural populations of amphibians

両生類の天然集団にみられる脚の変異(多様性)









### Anomalies as warning signals

### 警告的な変異(異常)















### Anomalies as warning signals

警告的な変異(異常)





**Radioactive pollution** 

### Two main categories of anomalies according to their causes

異常に関する原因別の2つの分類

• [1] Phenotypic anomalies (not transmitted to offspring):

[1]表現型の異常(子孫には伝わらない)

[1a] Accidents during development and life (traumatisms, injuries) 胎内および生育過程における事故(外傷、損傷)

[1b] Physico-chemical aggressions (pesticides, radiations) inducing genetic or chromosomal mutations in somatic cells

体細胞に遺伝子または染色体突然変異を誘発する物理 化学的有害因子(農薬、放射線)

[1c] Biological aggressions (predation, parasitism, diseases, hormones, viruses)

生物学的有害要因(捕食□弱肉強食□、寄生虫、病気、ホルモン異常、ウイルス)

[1d] Composite organisms: chimeras (partial fusion of eggs)



複合生命体:キメラ(卵の部分融合)

# Anomalies caused by DNA damage due to major physico-chemical aggressions (radiations, chemicals)

主要な物理化学的有害因子(放射線、化学物質)がもたらす DNA損傷に起因する変異

• [1b] Genetic or chromosomal mutations induced in somatic cells, **not transmitted to offspring**:

[1b] 体細胞に誘発された遺伝子または染色体突然変異 (子孫には伝わらない)

**Pathogenetic** and **carcinogenetic** effects: physiological dysfunctioning, diseases, death

病原性および発がん性影響:生理的機能不全、疾病、死

*Teratogenetic* effects: perturbation of growth and ontogenesis, resulting in phenotypic anomalies



### Two main categories of anomalies according to their causes

異常に関する原因別の二つの分類

- [2] Genotypic anomalies (transmitted to offspring):
  - ・[2] 遺伝子型異(子孫に伝わる)
  - [2a] Genetic or chromosomal mutations
    - Spontaneous
    - Induced by mutagenetic factors (radiations, chemicals...)

#### 遺伝子または染色体突然変異

- ・自然に生じるもの
- ・変異原(放射線、化学物質…)によって生じるもの
- [2b] Composite organisms: hybrids



• 複合生命体:雑種

# Anomalies caused by DNA damage due to major physico-chemical aggressions (radiations, chemicals)

主要な物理化学的有害因子(放射線、化学物質)がもたらす DNA損傷に起因する変異

• [2a] Genetic or chromosomal mutations induced in germinal cells, **transmitted to offspring**:

生殖細胞に誘発される遺伝子または染色体突然変異子孫に伝わるもの:

- Lethal mutations
- Sterility
- Aneuploidy
- Phenotypic anomalies

- 致死突然変異
- 不妊
- 異数性異常(染色体)
- 表現型異常



### チェルノブイリ

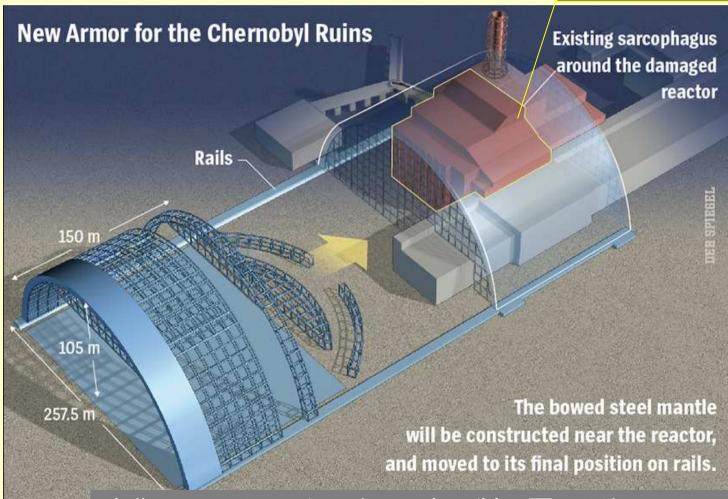




チェルノブイリ廃墟の 新たな鎧

チェルノブイリ

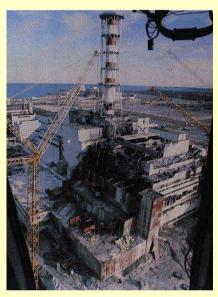
損傷炉のまわりの 現存の石棺





湾曲した(カマボコ型の)金属製の覆いが炉の廻りに 作られ、最終処分地点までレール上を移動する

### チェルノブイリ











### **Chernobyl** チェルノブイリ

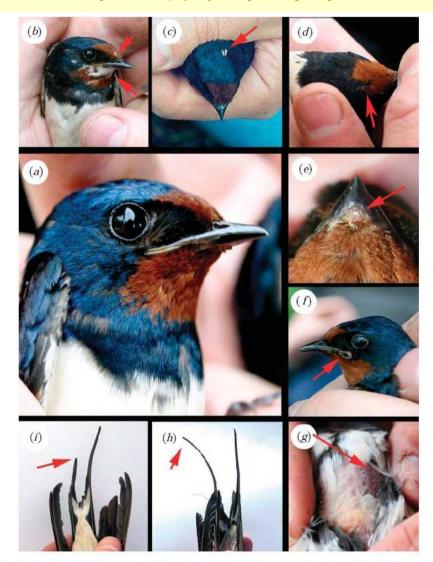
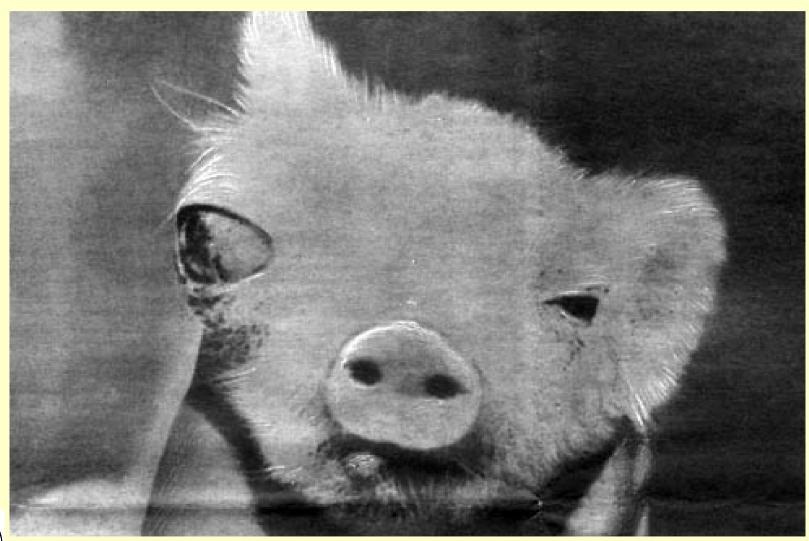


図1.ツバメにみられた異常 (a)正常型、 (b-d)部分脱色した羽毛、 (e,f)変形した嘴、 (g)変形した気嚢、 (h,i)曲がった尾羽

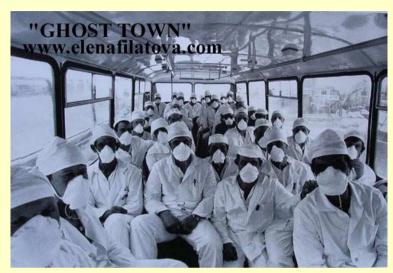


Figure 1. Photographs of abnormalities in barn swallows. (a) Normal phenotype. (b-d) Partially albinistic plumage. (e) and (f) Deformed beak. (g) Deformed air sacks. (h) and (i) Bent tail feathers.

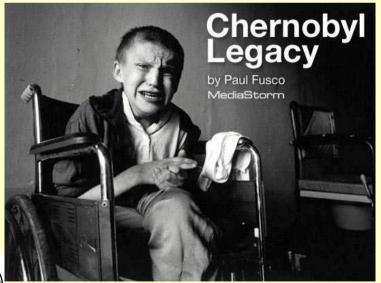
### **Chernobyl** チェルノブイリ



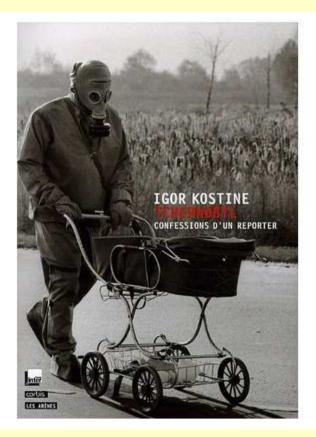




ゴーストタウン



### チェルノブイリ



レポーターの告白



### Effects of nuclear bombings or accidents

#### 核爆弾または核事故の影響

Short-term effects on direct victims:

(直接)被災した人々に及ぼす短期的影響:

- Thermal effects (burns, death) 高熱の影響 (火傷、死)
- Blast effects (injuries, traumas, death) 爆風の影響(外傷、トラウマ、死)
- Mutagenetic effects on somatic cells

体細胞への突然変異による影響:

- > Pathogenetic effects (including cancers and leukemias)
- ➤ Teratogenetic congenital effects on embryos

疾病(各種のがんと白血病)

生殖細胞の突然変異:子孫に伝わる

Long-term effects on progeny of direct victims:

被災した人の子孫に及ぼす長期的影響

- Mutagenetic effects on germ cells, transmitted to offspring



生殖細胞の突然変異;子孫に伝わる

### Mutagenetic effects on germ cells

### 生殖細胞にもたらされる突然変異

- Mutations may be lethal during development or not
  - ・ 突然変異は(個体を)発生途上に死に至らしめるかも知れないし、しないかも知れない
- Most mutations, even non-lethal ones, are deleterious
  - ・ ほとんどの突然変異は、たとえ致死的ではなくても有害である
- Among non-lethal mutations, only the dominant ones are easy to detect in the first generation
  - ・ 非致死的突然変異の中では、顕性(優性)のもののみ第一世代で容易に検出される
- The recessive ones are transmitted 'silently' to offspring and reappear only when homozygous, in subsequent generations



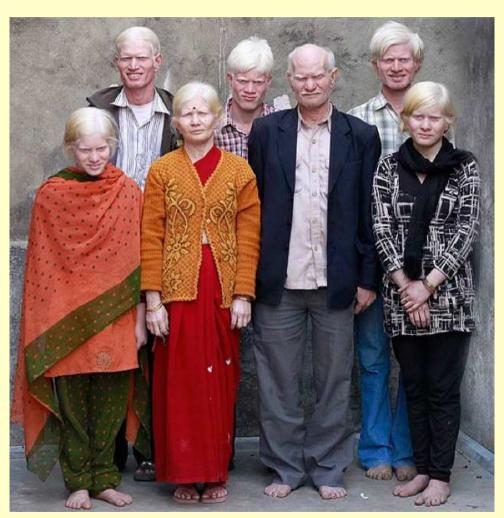
潜性(劣勢)の突然変異は子孫にそれとわからずに伝わり、同じ遺伝子が 2つ揃った(ホモになった)時にのみ、次世代以降に再び現れる

### Morpho-anatomical and coloration anomalies

形態 - 解剖学的異常および色の異常







### The notions of 'genetic pool' and 'genetic load'

'遺伝子プール'と'遺伝的負荷'の概念

- Genetic pool (genetic patrimony, genetic heritage): the set of alleles present in a population
- Genetic load (genetic burden): the rate of deleterious mutations, either dominant or recessive, and either lethal or not, present in the genetic pool of a population (e.g., of mankind as a whole)
- In animal populations, the genetic load can be evaluated directly through crosses or indirectly through experimental parthenogenesis or gynogenesis
- But in human populations these techniques cannot be used
- ・遺伝子プール(遺伝的遺産、遺伝的継承物):集団中における対立遺伝子のセット
- ・ 遺伝的負荷(遺伝的負担):顕性(優性)が潜性(劣性)かを問わず、また致死的か 非致死的かを問わず、集団(ヒト集団)の遺伝子プールに存在する有害変異の比率
- 動物集団の場合、遺伝的負荷は交配を通じて直接的に、あるいは実験的に単為生殖や

雌性発生を誘発することにより間接的に評価される

・しかしヒト集団においては、このような技術を使うことはできない

### Methods of evaluations of effects of irradiation in human populations

ヒト集団における放射線照射(被ばく)の影響評価法

- Clear somatic effects: direct observations of pathologies (thyroid cancer, leukemia) providing clues about somatic effects in affected persons
- Ambiguous effects: direct observations on progeny born in the weeks or months after irradiation, providing clues about either congenital somatic mutations in embryos conceived before irradiation or mutations in the gametes before fertilisation:
  - Demographic data on stillbirth and perinatal mortality
    - Data on morpho-anatomical anomalies
    - Data on chromosomal anomalies
    - ・ 明白な健康影響:被ばくした人への健康影響の手がかりを与える病変 (甲状腺がん、白血病)の直接観察
    - ・曖昧な(明白ではない)影響:先天的な体細胞突然変異が照射前に妊娠した胚に 生じたのか、あるいは突然変異が受胎前の配偶子に生じたのかを知る手掛かりを与える 照射後数週間~数か月以内に生まれた子孫の直接観察:



-死産及び周産期死亡の人口統計学的データ

-形態-解剖学的データ

-染色体異常のデータ

### Methods of evaluations of effects of irradiation in human populations

ヒト集団における被ばくの影響を評価する方法

- Clear genetic effects: direct and indirect data on offspring conceived after irradiation, providing clues on genetic or chromosomal mutations in gametes (resulting in increase of genetic load):
- Direct data obtained through DNA studies (e.g., on minisatellites)
  - Indirect data obtained from statistical analysis of demographic data (e.g., sex odds)
- ・明白な遺伝的影響:被ばく後に妊娠した(人の)子孫に関する直接的及び間接的なデータ、これらは配偶子に生じた遺伝子および染色体突然変異に関する手がかりを与える(結果、遺伝的負荷が増大する)
  - DNA(ミニサテライト)を調べて得られる直接的データ
  - 人口統計学的データ(性比の?オッズ)の統計解析から得られる間接的データ



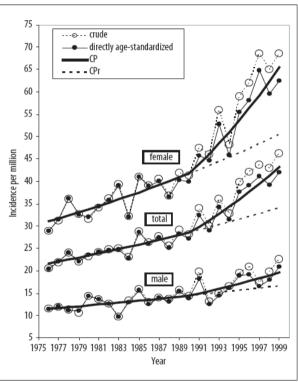
### Thyroid cancer after Chernobyl (1986) Czech Republic, 1976–1999

チェルノブイリ事故(1986年)以後の甲状腺がん チェコ共和国、1976-1999年

Change point
Reduced change point
無補正
直接年齡標準化

縦軸:100万人あたりの発生数

横軸:年



**Figure 2.** Crude and directly age-standardized incidence of thyroid carcinoma in females, males and both genders combined in the Czech Republic, change-point (CP) and reduced change-point (CPr) linear logistic regression models (see Table 1).

図2.チェコ共和国で集計した女性、男性、両性に生じた甲状腺がんの発生数(線形ロジスティック回帰モデル)

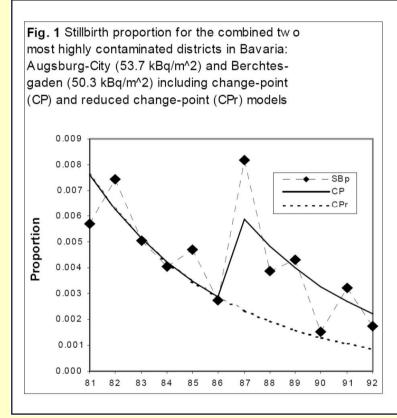


Muerbeth S., Rousanova M., Scherb H. & Lengfelder E. (2004) Thyroid cancer has increased in the aduult populations of countries moderately affected by Chernobyl fallout. *Medical Science Monitor*, **10** (7): CR300–306.

### Stillbirth after Chernobyl (1986) Europe, 1981–1992

チェルノブイリ事故(1986年)後の死産 ヨーロッパ、1981-1992

縦軸はいずれも死産率 横軸は(記載はないが)年



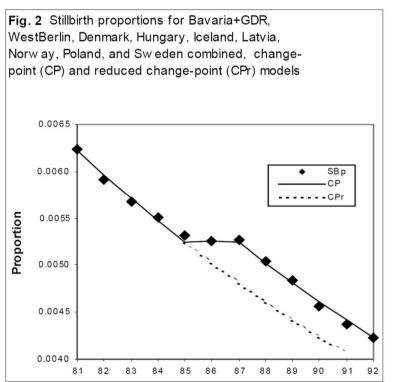


図1 . ババリアにおける最も高度に汚染した2つの地区: Augsburg市 ( 1m²あたり53.7キロベクレル ) および Berchtesgaden ( 50.3kBq/m² ) を合わせたchange point およ びreduced change pointモデルを含む死産率 図2 . ババリア + 東ドイツ、西ベルリン、デンマーク、ハンガリー、アイスランド、ラトビア、ノルウエーおよびスエーデンを合わせた 死産率



### Perinatal mortality after Chernobyl (1986)

Germany, 1980-1993

チェルノブイリ事故(1986年)後の周産期死亡ドイツ、1980-1993

Aの縦軸:過剰周産期死亡率

Bの縦軸:過剰死産率 横軸はいずれも年

縦軸:死産率

横軸:年

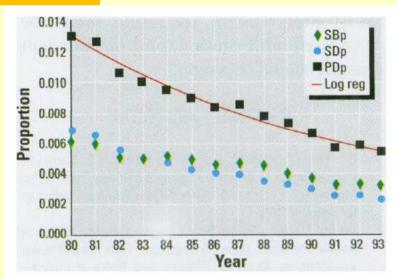


Figure 5. Perinatal mortality in Bavaria, the former GDR, and West Berlin combined, 1980–1993, including the logistic regression line (Log reg).

図5.旧東独ババリアおよび西ベルリンを合わせた1980 - 1993年の間の周産期死亡率でロジスティック回帰曲線を含む

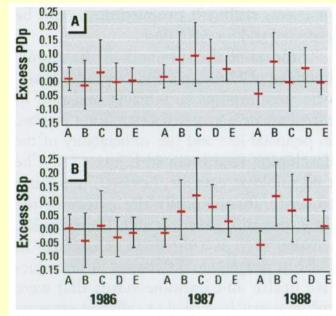


Figure 6. Excesses and 95% confidence limits for the perinatal death and stillbirth proportions in Germany in 1986, 1987, and 1988. Abbreviations: A, FRG excluding Bavaria and West Berlin; B, GDR including West Berlin; C, Bavaria; D, Bavaria, the former GDR, and West Berlin; E, all of Germany.

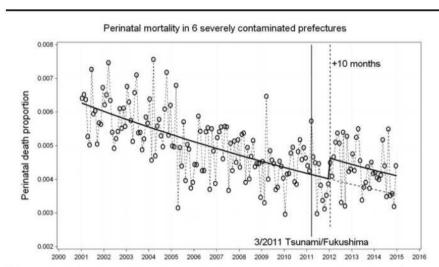
図6 . 1986,1987,1988年のドイツにおける周産期死亡と死産に関する過剰発生と 95%信頼限界 略号:A.ババリアと西ベルリンを除いた西ドイツ、B.西ベルリン を含む東ドイツ、C. ババリア、D. ババリア、旧東ドイツおよび西ベルリン、



Scherb H., Weigelt E. & Bruske-Hohlfeld I. (2000) Regression analysis of time trends in perinatal mortality in Germany 1980–1993. *Environmental Health Perspective*, **108** (2): 159–165.

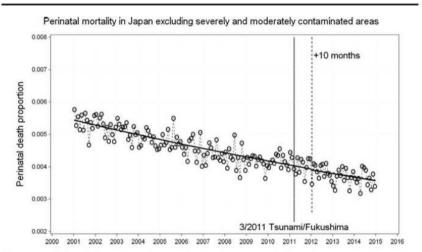
### Perinatal mortality after Fukushima (2011) Japan, 2000–2015

#### 福島事故(2011年)後の周産期死亡 日本2000-2005年



**Figure 3.** Monthly perinatal mortality in 6 severely contaminated prefectures Fukushima, Gunma, Ibaraki, Iwate, Miyagi, and Tochigi; jump in January 2012, jump odds ratio 1.156 (1.061, 1.259).

図3.高度汚染6県(福島、群馬、茨城、岩手、宮城、栃木)に おける月別周産期死亡: 2012年1月に突出があり、突出オッズ 比は1.156(1.061、1.259)



**Figure 5.** Monthly perinatal mortality in Japan excluding the 6 severely and 3 moderately affected prefectures (see Figs. 3 and 4); insignificant jump in January 2012, jump odds ratio 0.991 (0.958, 1.024).

図5.高度汚染6県および中程度汚染3県を除いた日本における月別周産期死亡(図3,4参照):2012年1月に有意な突出はみられない、突出オッズ比0.991 (0.958、1.024)

Scherb H., Mori K. & Kayashi K. (2016) Increases in perinatal mortality in prefectures contaminated by the Fukushima nuclear power plant accident in Japan. A spatially stratified longitudinal study. *Medicine*, **95** (38) [e4958]: 1–7.



### Birth prevalence of congenital heart malformations after Chernobyl (1986)

Bavaria, 1984–1991

チェルノブイリ事故(1986年)後の先天的心臓奇形の出生率 ババリア、1984-1991年

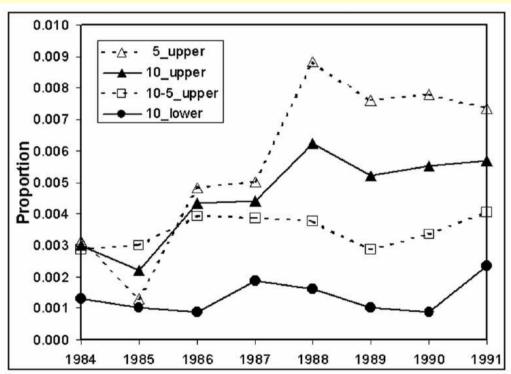


Fig. 5: Birth prevalences (proportions) of two congenital heart malformations (ICD7454+ICD7455, n=2797) in Bavaria; stratification according to contamination of districts (see Table 1)

図5.ババリアにおける2種類の先天 的心臓奇形

( 1 ICD7454+ICD7455, 総数2797例) 地域の汚染度により階層化 (表1参照)

縦軸:(出生)率

図中の5\_upper, 10\_lower...

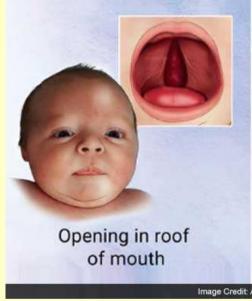
の意味は不明

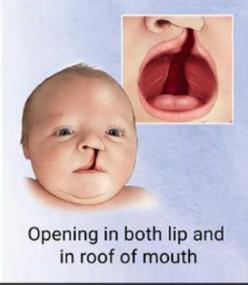


### Cleft lip and cleft palate prevalence in newborns after Chernobyl (1986)

チェルノブイリ事故(1986)以後の 口唇裂および口蓋裂の有病(発生)率

上顎の開裂





更新から上顎に かけての開裂

• Former German Democratic Republic and Bavaria:

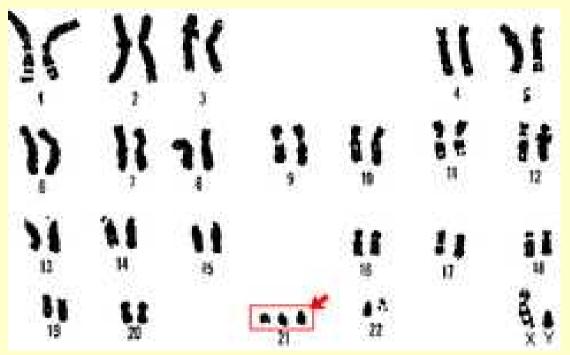
9.4–9.5 % increase of prevalence from 1986 to 1990

かつてのドイツ民主共和国(東ドイツ)およびババリアでは、9.4-9.5 % の発生率増加がみられた



### Trisomy 21 (Down syndrome)

トリソミー21(ダウン症)





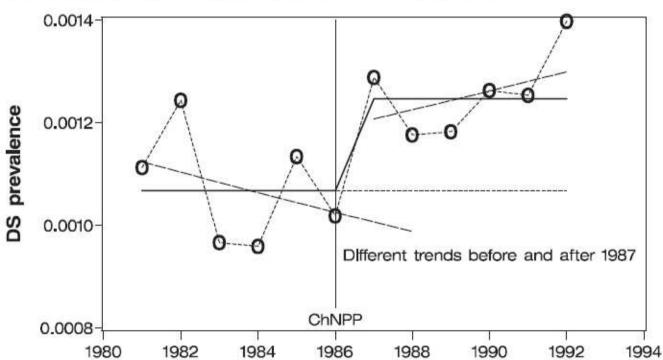


### Increase in trisomy 21 (Down syndrome) in **Europe after Chernobyl (1986)**

Bavaria + Belarus + Hungary + Sweden + Lothlan + North West England + West Berlin, 1981–1992

チェルノブイリ事故(1986年)以後のヨーロッパにおけるトリソミー21(ダウン症)の増加





ババリア + ベラルーシ + スエーデン+ロスラン+ イギリス北西部+西ベル リン、1981-1992

縦軸:ダウン症有病率

図上:全土地(の有病率)合

図中:1987年前後で異なる傾

図中中央下:チェルノブイリ

原発(事故)



Sperling K., Neitzel H. & Scherb H. (2012) Evidence for an in trisomy 21 (Down syndrome) In Europe after the Chernobyl reactor incident. *Genetic Epidemiology*, **36** (1): 48–55.

### Minisatellite studies after Chernobyl (1986)

チェルノブイリ事故(1986年)後のミニサテライトの調査

- Eight human ministellite loci among families of Ukraine
- A statistically significant 1.6-fold increase observed in the mutation rate in the germline of exposed fathers
  - No such effect observed in mothers
  - ・ ウクライナの家族の8人のミニサテライトの座位(について調査)
  - ・被ばくした父親の生殖細胞に生じた(ミニサテライトの)突然変異率が統計的に有意な1.6倍に増加
  - ・母親にはこのような影響は観察されず

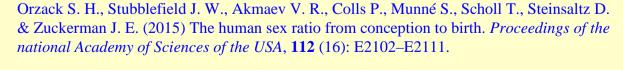
Dubrova Y. E., Grant G., Chumak A.A., Stezha V. A. & Karakasian A. N. (2002) levated mlinistaellite mutation rate in the post-Chernobyl families from Ukraine. *American Journal of human Genetics*, **71**: 801–809.



#### Live birth sex odds

#### 出生の性オッズ

- The normal human sex ratio at conception is balanced (1:1)
- It decreases during the first week after conception (due to excess male mortality), then increases for at least 10–15 weeks (due to excess female mortality) and finally declines slowly from 28 to 35 weeks (due to excess male mortality)
- The total female embryo mortality during pregnancy exceeds the total male embryo mortality, thus resulting in a 'normal' sex ratio at birth inbalanced in favour of males (105 males to 100 females)
  - ・ 正常人の妊娠時の性比は均衡(1:1)している
  - ・それが妊娠後1週間で減少(男性の過剰死による)し、次いで10-15週で増加に転じ(女性 の過剰死による)、最終的には28 - 35週にかけて緩やかに低下する(男性の過剰死による)
  - ・女性の妊娠期間中の胚死亡総数は男性のそれを上回る結果、出生時点では男性優位の不均衡(男性105に対し女性100)という'正常'性比に落ち着く





### Live birth sex odds

#### 出生の性オッズ

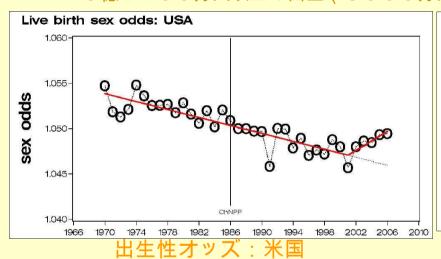
- This normal sex ratio may be modified by external factors, including ionising radiations
- Four theoretical possibilities regarding the influence of ionising radiations on sex ratio in human populations:
  - Mothers irradiated, X-linked recessive lethal mutations: excess of daughters, deficit of sons
  - Mothers irradiated, X-linked dominant lethal mutations: no effect on sex odds
  - Fathers irradiated, X-linked recessive lethal mutations: no effect on sex odds
  - **Fathers** irradiated, X-linked dominant lethal mutations: **excess of sons**, deficit of daughters
- Epigenetic effects during development cannot be ruled out but they are poorly known
  - ・ この正常性比は、電離放射線を含む外部要因により変動する
  - ・ヒト集団の性比に及ぼす電離放射線の影響に関する4つの理論的可能性:
    - 親が被ばくし、X染色体連関潜性(劣性)致死突然変異が生じる:娘が過剰になり、息子が不足
    - 母親が被ばくし、X染色体連関顕性(優性)致死突然変異が生じる:性オッズに影響なし
    - 父親が被ばくし、X染色体連関潜性(劣性)致死突然変異が生じる:性オッズに影響なし
    - 父親が被ばくし、X染色体連関顕性(優性)致死突然変異が生じる: 息子が過剰になり、娘が不足

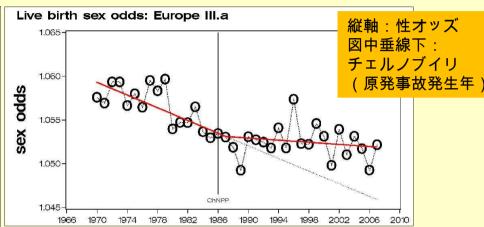


### Change in live birth sex odds after Chernobyl (1986)

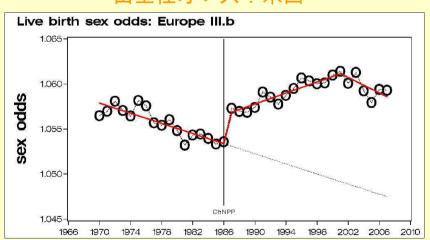
USA, Europe and Asia, 1970–2007 Data based on more than 344 million births (80 + 216 + 47)

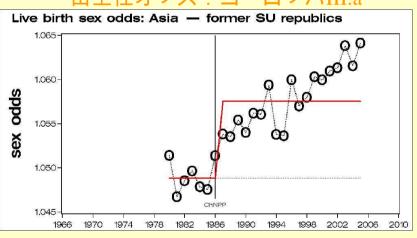
チェルノブイリ事故(1986年)後の出生性オッズの変動:米国、ヨーロッパおよびアジア3億4400万人以上の出生(8000万人+2億1600万人+4700万人)に基づくデータ





#### 出生性オッズ:ヨーロッパIII.a



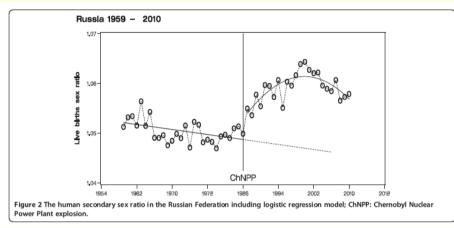


出生性オッズ:ヨーロッパIII.b連

出生性オッズ:アジア―旧ソ

Scherb H. & Voigt K. (2007) Trends in the human sex odds at birth in Europe and the Chernobyl nuclear power plantccident. *Reproductive Toxicology*, **23** (4): 593–599. ヨーロッパにおける出生時性オッズの傾向とチェルノブイリ原発事故

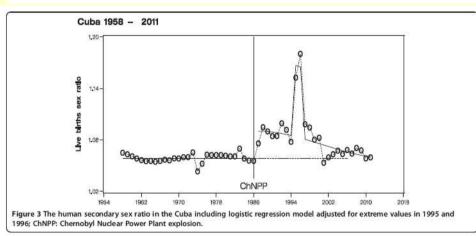
#### Change in live birth sex odds after Chernobyl (1986) Russia and Cuba, 1958–2011



チェルノブイリ原発事故 (1986年)後の出生性比の変動 ロシアおよびキューバ 1958-2011

図の上:ロシア 1959-2010年 縦軸:出生性比

図2. ロジスティック回帰モデルを含むロシア 連邦におけるヒトのsecondary性比 ChNPP: チェルノブイリ原発事故爆発



図の上:キューバ 1958-2011年 縦軸:出生性比

図3.1995年及び1996年の極端な値で補正したロジスティック回帰モデルを含む キューバにおけるヒトのsecondary性比 ChNPP:チェルノブイリ原発事故爆発

Scherb H. & Voigt K. (2007) Response to F. Bochud and T. Jung: Comment on the human sex odds at birth after the atmospheric atomic bomb tests, after Chernobyl, and in the vicinity of nuclear facilities, Hagen Scherb & Kristina Voigt, Environ. Sci. Pollut. Res. (2011) 18:697–707 (DOI: 10.1007/s11356-012-0767-6). *Environment Science & Pollution Research*, **19**: 4234–4141.

大気中核実験後、チェルノブイリ事故後および各施設周辺におけるヒトの出生性比に関するF. BochudとT. Jungのコメントへの回答

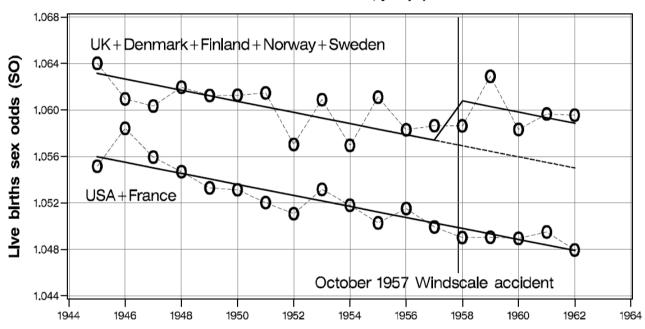


Scherb H., Kusmierz R. & Voigt K. (2013) Increased sex ratio in Russia and Cuba after Chernobyl: a radiological hypothesis. *Environmental Health*, **12** (63): 1–10.

#### Change in live birth sex odds after Windscale (1957) Europe and USA, 1945–1962

ウィンズケール事故(1957年)後の出生性オッズの変動 ヨーロッパおよびアメリカ、1945-1962

UK+Den+Fin+Nor+Swe versus USA+France, jump p- value 0.0004



図上:2グループの国群、 突出点の出生性オッズの

増加は0.004

縦軸:出生性オッズ

(SO)

Fig. 1. Synoptic trend analysis of the human secondary sex ratio (or sex odds in technical terms) in the United Kingdom (UK), Denmark (Den), Finland (Fin), Norway (Nor), and Sweden (Swe) combined versus USA and France combined. Estimated jump in 1958, jump sex odds ratio SOR 1.0036, 95%-CL (1.0016, 1.0057), *p*-value 0.0004.

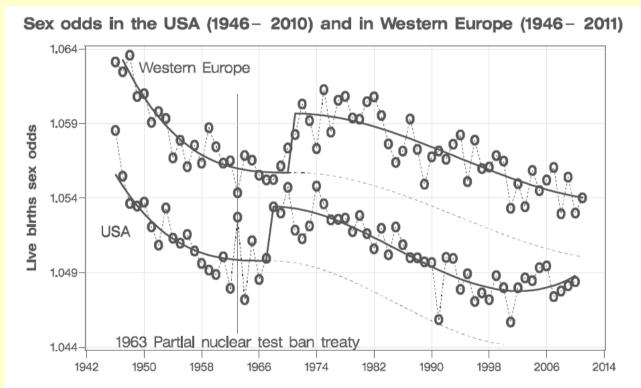
図1. 英国、デンマーク、フィンランド、ノルウエーおよびスエーデンを合わせた国々と米国およびフランスを合わせた国々におけるヒトのsecondary性比(または専門用語における性オッズ)の概観的トレンド解析

Grech V. (2011) Births and male:female birth ratio in Scandinavia and the United Kingdom after the Windscale fire of October 1957. *International Journal of Risk & Safety in Medicine*, **26**: 45–53.

1957年10月のウインズケール事故後のスカンジナビアおよび英国における出生と雌雄出生比

## Change in live birth sex odds after atmospheric nuclear weapon testings USA and Europe, 1946–2011

大気中核実験後の出生性オッズの変動: 米国およびヨーロッパ、1946-2011



図の上:米国(1946-2010年)および西ヨーロッパ(1946-2011年)における性オッズ 図中下:1963年部分的核実験禁止条約(発効) 縦軸:出生性オッズ

Scherb H. (2015) Letter to the Editor. *International Journal of Risk & Safety in Medicine*, **27**: 107–110. Scherb H., Voigt K. & Kusmierz R. (2015) Ionizing radiation and the human gender proportion at birth—A concise review of the literature and complementary analyses of historical and recent data. *Early human development*, **91**: 841–850.



## Change in live birth sex odds after atomic bombings Hiroshima & Nagasaki, 1945

原爆投下後の出生性オッズの変動: 広島と長崎、1945

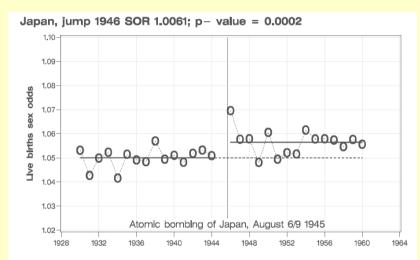


Fig. 1. The human secondary sex odds in Japan including logistic regression model allowing for a jump in 1946.

図1.1946年の突出を許容したロジスティック回帰モデルを含む日本におけるヒトのsecondary性オッズ

図の上:日本、1946年に出生性オッズ0.002の突出

(SOR1.0061の意味不明)

図中下:1945年8月6日(6/9の意味不明)日本に原爆投下

縦軸:出生性オッズ

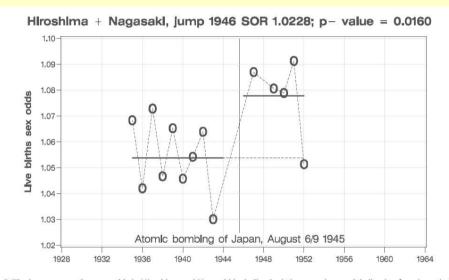


Fig. 2. The human secondary sex odds in Hiroshima and Nagasaki including logistic regression model allowing for a jump in 1946.

図2.1946年の突出を許容したロジスティック回帰モデルを含む広島と長崎におけるヒトのsecondary性オッズ

図の上:広島および長崎、1946年に出生性オッズ0.0160の突出

(SOR1.0228の意味不明)

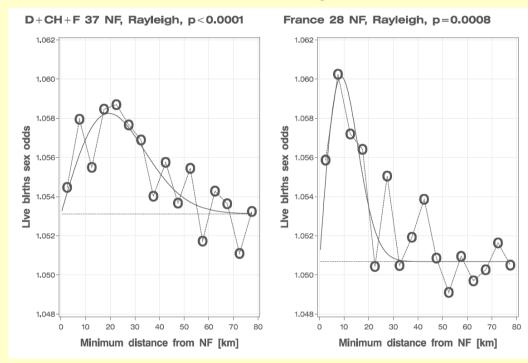
図中下:1945年8月6日(6/9の意味不明)日本に原爆投下

縦軸:出生性オッズ



Scherb H., Voigt K. & Kusmierz R. (2015) Ionizing radiation and the human gender proportion at birth—A concise review of the literature and complementary analyses of historical and recent data. *Early human development*, **91**: 841–850.

## Live birth sex odds according to distance to nuclear facilities Germany, Switzerland and France



核施設との距離に依存した 出生性オッズ ドイツ、スイスおよびフランス

縦軸(左右とも):出生性オッズ

横軸(左右とも):核施設からの距離

( km )

Scherb H. & Voigt K. (2012) Response to W. Kramer: The human sex odds at birth after the atmospheric atomic bomb tests, after Chernobyl, and in the vicinity of nuclear facilities:comment (doi: 10.1007/s11356-011-0644-8). *Environment Science & Pollution Research*, **19**: 1335–1340.

W. Kramerへの回答: 大気中核実験後、チェルノブイリ事故後および核施設周辺におけるヒトの出生時性オッズ Scherb H., Voigt K. & Kusmierz R. (2014) Nuclear energy: danger only in case of accident? *Proceedings of the 28th EnviroInfo 2014 Conference*, September 2014, Oldenburg, Germany: 119–126.

核エネルギー:事故の際のみが危険か?

Scherb H., Voigt K. & Kusmierz R. (2015) Ionizing radiation and the human gender proportion at birth—A concise review of the literature and complementary analyses of historical and recent data. *Early human development*, **91**: 841–850.



### **Conclusion**

- Dose-dependent (decreasing according to distance) jumps in the sex ratios of newborns (excess of males) were observed:
  - after the nuclear accidents of Chernobyl and Windscale
  - after the war bombings and the atmospheric nuclear weapons testings
  - within tens of kilometers from seemingly normally running nuclear facilities of all kinds (including nuclear power plants and nuclear waste disposal sites)
- This increase turned out to be irradiation dose-dependent (i.e., more important close to source)
- Various hypotheses have been put forward to account for these facts, but these have not yet been sufficiently investigated



### **Conclusion**

- These data suggest the presence of more 'silent' nonlethal mutations in the genetic pools of the affected populations, therefore an increase of their genetic load
- If these trends were confirmed, a permanent increase of the 'background' dose worldwide of ionising radiation could considerably increase mankind's burden of inherited afflictions—from mental handicaps to predispositions to emotional diseases, cancers, immunesystem disorders, morpho-anatomical and other anomalies, and so forth
  - Therefore, the genetic effects of ionising radiation in humans should be investigated more objectively and much more thoroughly

### Acknowledgements

- To Dr. Hagen Scherb (München, Germany) for information and discussions
- To Dr. Ikuo Miura (Higashi-Hiroshima, Japan) for Japanese translation of the slides





