

**世界の核災害に関する研究成果報告会
2017年11月12日 東京・星陵会館**

**科研費共同研究の概要と、ウラル核
惨事、ウィンズケール火災事故、ウ
ラジオストク原潜臨界事故の顛末**

**今中哲二
京都大学原子炉実験所**

科研費合同成果報告会

科学研究費 基盤(B)海外学術

「世界の核災害における後始末に関する調査研究」

代表 今中 哲二・京都大学

2014～2017年度 直接経費1010万円

科学研究費 基盤(B)地域研究

「被ばく被害の国際比較研究：セミパラチンスク、
チェルノブイリ、広島・長崎、福島」

代表 川野徳幸・広島大学

2015～2018年度 直接経費1050万円

今日の報告者紹介



今日の報告の現場



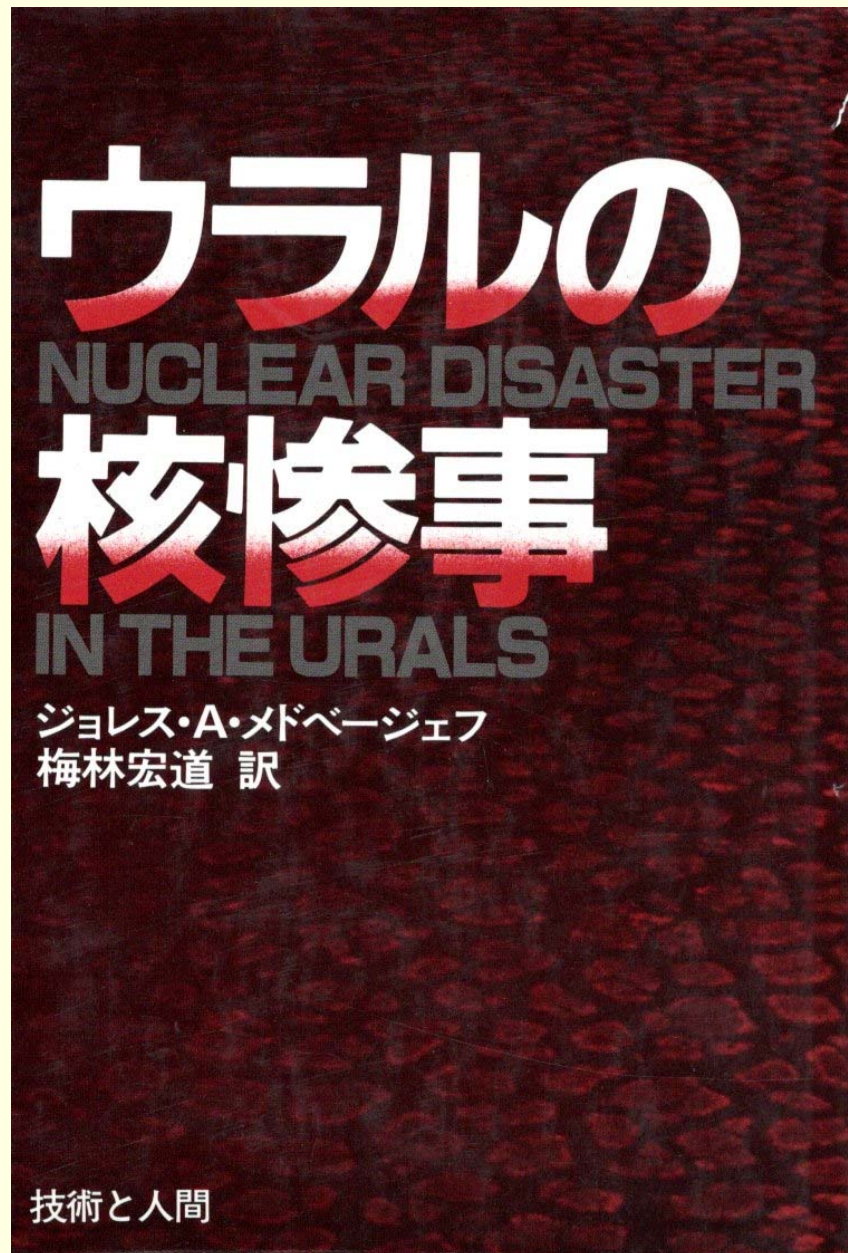
今中の話題

- **ウラルの核惨事**
 - マヤーク核コンビナート
- **ウィンズケール火災事故**
 - セラフィールド再処理工場
- **ウラジオストク原潜臨界事故**

旧ソ連の原子力開発

- 1943年 クルチャトフをリーダーとして原爆開発計画発足
- 1946年12月24日 モスクワ郊外の第2ラボにおいて原子炉臨界
- 1948年夏 マヤク核コンビナートのフルトニウム生産炉臨界
- 1949年8月29日 セミパラチンスクにてソ連最初の核実験
- 1954年 世界最初のオブニンスク原発（5000kW）運転開始
- 1957年9月29日 マヤクの高レベル廃棄物タンク爆発事故
（1957年10月10日 英国・ウィンズケール火災事故）
- 1958年 ソ連最初の原子力潜水艦K-3就航
- 1964年 RBMK原型炉ベロヤルスク1号（10万kW）運開
- 1974年 レニングラード原発1号（RBMK-1000）運開
- 1978年 チェルノブイリ原発1号（RBMK-1000）運開
- 1983年12月 チェルノブイリ原発4号（RBMK-1000）運開
- 1985年8月10日 原子力潜水艦K-431 チャジマ湾で臨界事故
- 1986年4月26日 チェルノブイリ原発4号 爆発・炎上

ウラルの核惨事



原本1979、訳本1982

ジョレス・A・メドベージェフ
1925～
旧ソ連の亡命生物学者

目次	
第一章	一大センセーション始まる 7
第二章	センセーションは続く 17
第三章	ウラルの惨事 31
第四章	巨大な湖を汚染する 41
第五章	一千万キョーリーの汚染 71
第六章	惨事はいつ、どこで起ったか 93
第七章	渡り鳥と放射能の国外への拡散 103
第八章	死滅した土中動物 123
第九章	森林の様相は一変した 137
第二十章	草原植物の放射線遺伝学 161
第二十一章	生き残ったクロレラ 169
第二十二章	CIA文書は語る 179
第二十三章	核惨事のシナリオ 197
専門用語の解説	235
資料編	243
文献と注	265
訳者あとがき	281

装幀・勝木雄二

New Scientists誌, 1976/11/1

「この核事故は原子炉の放射性廃棄物が南ウラルの1000平方km以上の地域を汚染したもので、数百人の死者を出し、数千人が強制退去させられたり、病院に収容された」

Атомная Энергия, 67 №2, 1989

Радиационная авария на Южном Урале в 1957 г.

НИКИПЕЛОВ Б. В., РОМАНОВ Г. И., БУЛДАКОВ Л. А., БАБАЕВ И. С., ХОЛИНА Ю. Б., МИКЕРИН Е. И.

Описание аварии. Радиационная авария с выбросом радиоактивных веществ в окружающую среду на одном из оборонных предприятий Южного Урала произошла 29 сентября 1957 г. Ее причиной явились нарушения в системе охлаждения бетонной емкости объемом 300 м³ и обусловленные этим испарение воды, саморазогрев и взрыв хранившихся 70—80 т высокоактивных отходов радиохимического производства, находившихся преимущественно в виде нитратно-ацетатных соединений. В сферу взрыва было вовлечено ~20 млн Ки активности, из них ~10% были рассеяны в окружающей среде по мере прохождения облака взрыва, первоначально поднявшегося на высоту до 1 км. Осаждение радиоактивного вещества из облака взрыва, перемещавшегося под действием ветра в северо-восточном от предприятия направлении, привело к радиоактивному загрязнению части территории Челябинской, Свердловской и Тюменской областей. Формирование наземного радиоактивного следа в наиболее удаленной его части полностью было завершено по истечении 11 ч после взрыва.

В границах плотности загрязнения 0,1 Ки/км² по ⁹⁰Sr (удвоенный уровень глобального радиоактивного загрязнения ⁹⁰Sr) максимальная длина образовавшегося следа достигала 300 км при ширине до 30—50 км, в границах 2 Ки/км² — 105 км при ширине следа 8—9 км. Общая площадь территории, подвергшейся радиоактивному загрязнению, составляла ~15 тыс. км², в том числе в границах 2 Ки/км² по ⁹⁰Sr ~1000 км².

Таблица 1. Радионуклидный состав аварийного выброса

Радионуклид	Период полураспада	Вид излучения	Вклад в активность смеси, %
⁸⁹ Sr	51 сут	β, γ	След
⁹⁰ Sr + ⁹⁰ Y	28,6 года	β	5,4
⁹⁵ Zr + ⁹⁵ Nb	65 сут	β, γ	24,9
¹⁰⁶ Ru + ¹⁰⁶ Rh	1 год	β, γ	3,7
¹³⁷ Cs	30 лет	β, γ	0,036
¹⁴⁴ Ce + ¹⁴⁴ Pr	284 сут	β, γ	66
¹⁴⁷ Pm	2,6 года	β, γ	След
¹⁵⁵ Eu	5 лет	β, γ	След
²³⁹ , ²⁴⁰ Pu		α	След

позиционной дозы, нормированная по плотности радиоактивного загрязнения территории, достигала 150 мкР/ч на 1 Ки/км² по ⁹⁰Sr. На участках с максимальным загрязнением начальная мощность экспозиционной дозы доходила до 0,6 Р/ч.

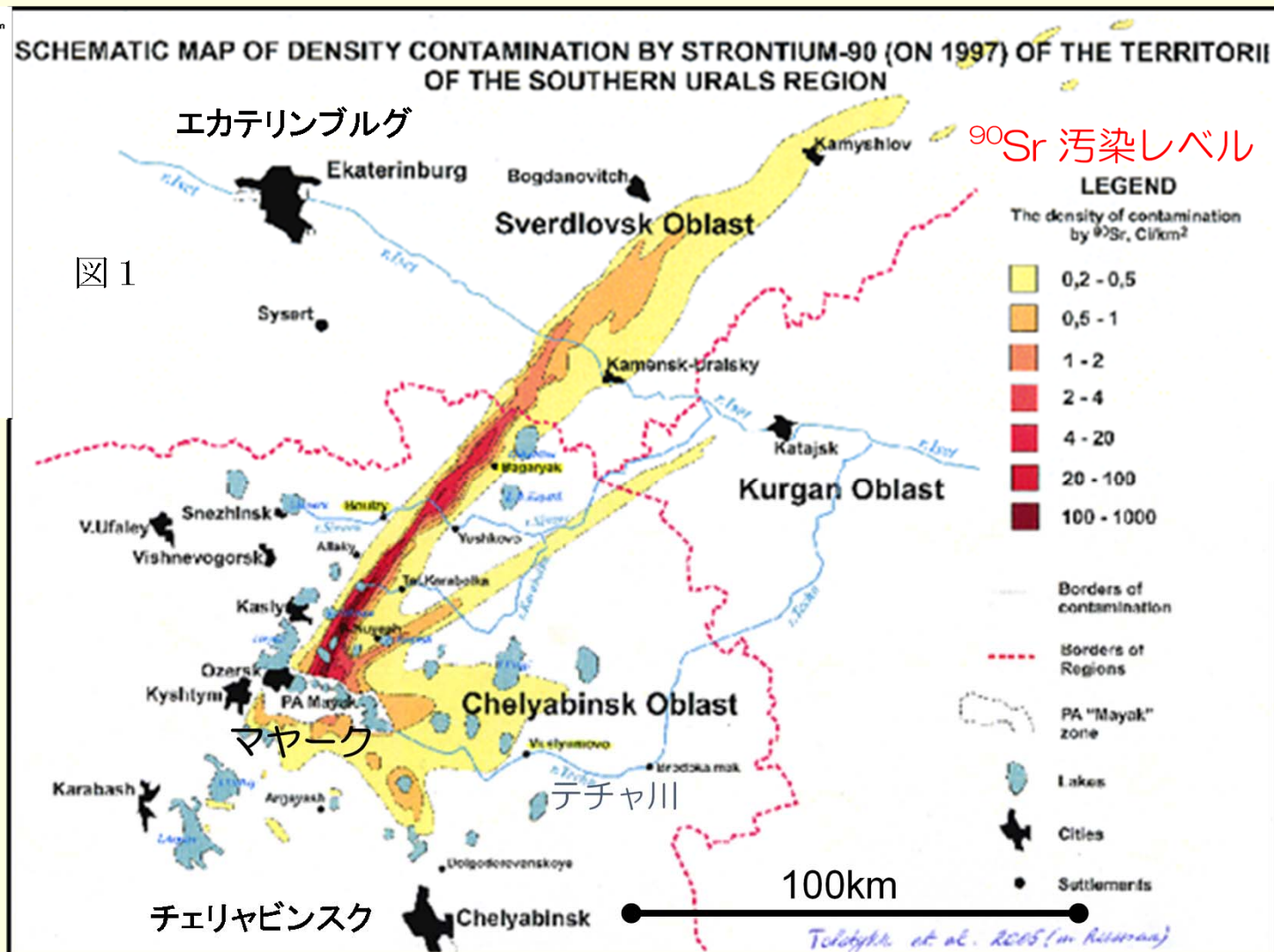
При закономерном начальном макрораспределении радиоактивного вещества на местности отмечено влияние мезо- и микроландшафта на плотности загрязнения участков протяженностью до нескольких сотен метров, что привело к изменению вариабельности локальной плотности загрязнения в пределах до 2 раз. Первоначально радиоактивное вещество сосредоточивалось на подстилающей поверхности — кронах деревьев, растительном покрове, обгаженной пашне, поверхности открытых водоемов. Концентрация сум-

1957年9月29日、マヤク核コンビナートで、約2000万Ci (740PBq) の放射能が入っていた廃液タンクが爆発。1割の200万Ci (74PBq) が敷地外に飛散した。

1957年9月29日、高レベル廃液タンクが爆発

- （1951年テチャ川の放射能汚染が判明後）高レベル廃液貯蔵のために地化ピット式タンクが設置された。
- 直径8m・高さ6m、容量約250m³のステンレス製タンク+ピット20基が設置され1953年から供用。
- タンクは水冷で、ピットの上は厚さ0.8mのコンクリートで蓋をして、さらに盛り土。
- タンクの水冷システムが前年（1956）から故障し修理不能。発熱量は約80kW。
- 1957年9月29日16:20、No14タンクが爆発。
- （後の実験で、模擬廃液が約350度で爆発を起こすことを確認）70～80トンの硝酸塩凝固体の爆発力はTNT換算25～29トンと推定されている。 Авраменко и др, 1997

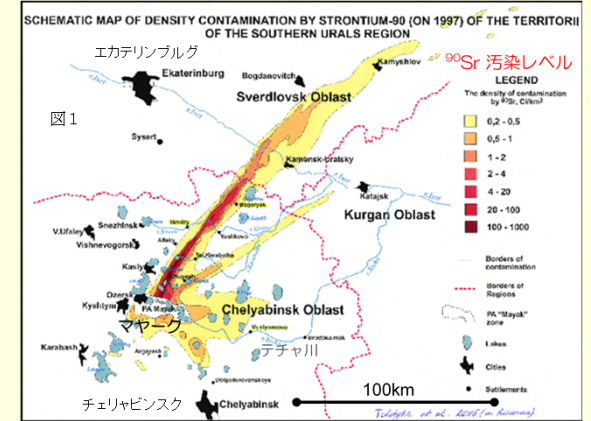
2009年に今中が入手したSr90の汚染地図



Sr90汚染 $2\text{Ci}/\text{km}^2$ ($7.4\text{万Bq}/\text{m}^2$) 以上の1000平方kmから約1万人が移住.
Sr90汚染 $0.1\text{Ci}/\text{km}^2$ ($3700\text{Bq}/\text{m}^2$) の面積は約2万平方km.

ウラルの核惨事で避難して消えた村の跡

2009年7月訪問 マヤクから約80km



EURT（東ウラル放射能汚染帯）の 避難者と推定被曝量

避難グループと 人数	⁹⁰ Sr平均沈 着量 Ci/km ²	事故から避 難までの時 間、日	避難までの平均被曝 量	
			外部被曝 mSv	実効線量 mSv
I: 600	500	7 – 10	170	520
II: 280	65	250	140	440
III: 2,000	18	250	39	120
IV: 4,200	8.9	330	19	56
V: 3,100	3.3	670	6.8	23

Malko V. KURRI-KR-181 (2013)

TNT換算25～29トンの爆発力とは



2011年3月14日

福島第1原発3号機水素爆発

- 東電の事故報告書によると、3号機水素爆発で燃焼した水素量は約400kgと推定されている。
- この水素量をTNT火薬に換算すると12トンになる。

チェルノブイリの核暴走はTNT換算約240トン

JM Martizex-Valら, Nuclear Technology 1990

テチャ川の放射性廃液汚染

REVIEW OF HISTORICAL MONITORING DATA ON TECHA RIVER CONTAMINATION

M. I. Vorobiova,* M. O. Degteva,* D. S. Burmistrov,* N. G. Safronova,*
V. P. Kozheurov,* L. R. Anspaugh,[†] and B. A. Napier[‡]

Health Physics 76 (1999)

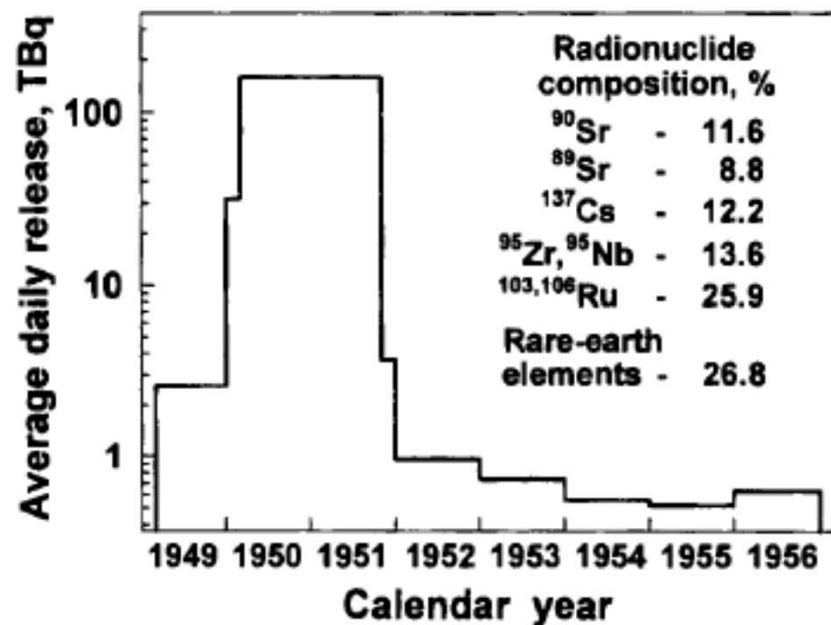
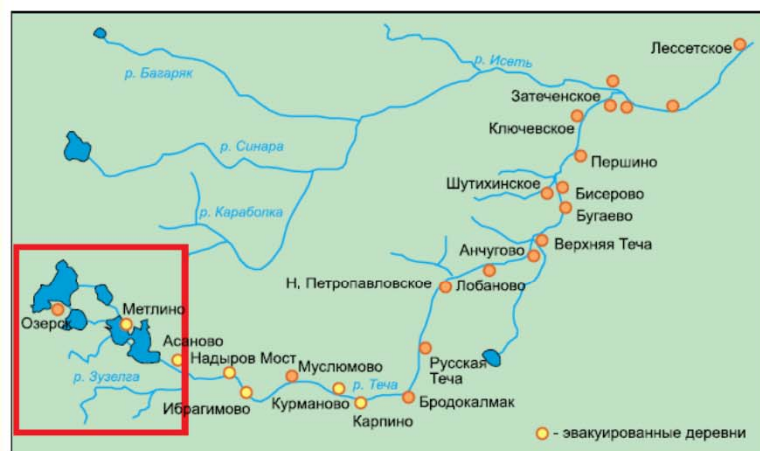


Fig. 5. Average amount of radioactivity released per day into the Techa River between 1949 and 1956 and radionuclide composition (according to the data of the Mayak Central Laboratory, Project Director Dmitry Ilyin) for the time period of major releases (March 1950–October 1951). Data on radionuclide composition at other times are provided in Table 2.

1951年に高レベル汚染が判明し80の村から8000人が移住。非移住者を含め、約3万人のコホートを対象に追跡調査と被曝評価が行われている。

のどかなテチャ川 Muslyumovo村 2009年7月



テチャ川住民のSr90汚染

Health Physics 101 (2011)

RECONSTRUCTION OF LONG-LIVED RADIONUCLIDE INTAKES FOR TECHA RIVERSIDE RESIDENTS: STRONTIUM-90

E. I. Tolstykh,* M. O. Degteva,* L. M. Peremyslova,* N. B. Shagina,*
E. A. Shishkina,* V. A. Krivoshchapov,[†] L. R. Anspaugh,[‡] and B. A. Napier[§]

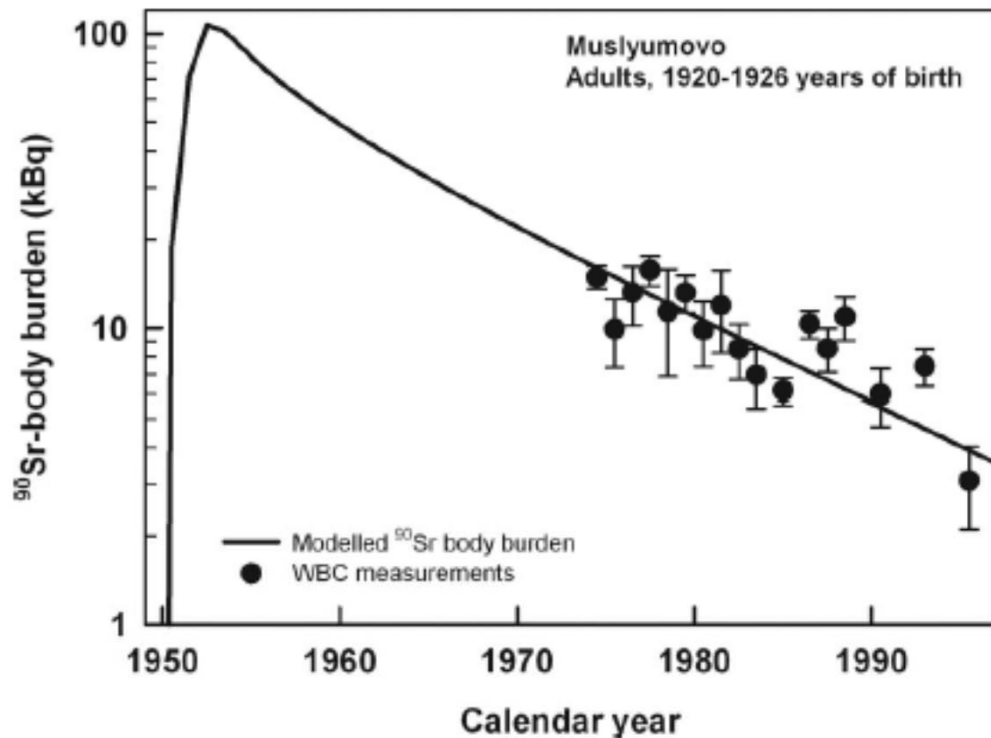


Figure 8. Normalization procedure for derivation of absolute values of ^{90}Sr intakes in Muslyumovo with use of WBC data (averaged according to year of measurements) and semi-empiric function of ^{90}Sr retention in bone corresponding to the reconstructed schedule of ^{90}Sr intake.



世界で唯一のSr90用ホールボ
ディークOUNTER：ボーチカ

放出放射能量

	1957 廃液タンク爆発	1949-1956 テチャ川
放出総量	74PBq	100PBq
	<放出組成>	
Sr-89	—	8 %
Sr90 / Y90	5.4 %	21 %
Cs137	0.036 %	11 %
Zr95 / Nb95	24.9 %	12 %
Ru103 + Ru106	3.7 %	24 %
Ce144 / Pr144	65.96 %	—
Others	—	24 %

英国の原子力開発

- 1938年暮れ ハーン、ストラスマン、マイトナーによる核分裂の発見
- 1940年3月 原爆製造に関するフリッシュ・パイエルスメモ
- 1941年7月 原爆製造を可能とするMAUD委員会最終報告

•

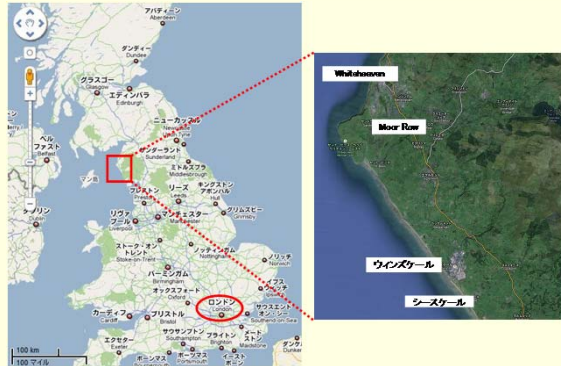
（第2次大戦中は、米国のマンハッタン計画に参加）

（第2次大戦後、独自の核開発に着手）

•

- 1950年10月 ウィンズケール1号炉臨界
- 1951年6月 ウィンズケール2号炉臨界
- 1952年10月5日 英国最初の原爆実験：オーストラリア北岸のモンテベロ諸島沖の浅瀬
- 1956年10月 コールダーホール原発1号機（6万kW）運転開始
- 1957年10月10日 ウィンズケール1号炉火災事故
- （1966年7月25日 東海原発（16.6万kW）運転開始）

ウィンズケール炉（パイル）の構造



建設された頃のウィンズケール

出力18万kWt、出口温度200度C

燃料チャンネル3444本

アイソトープチャンネル977本

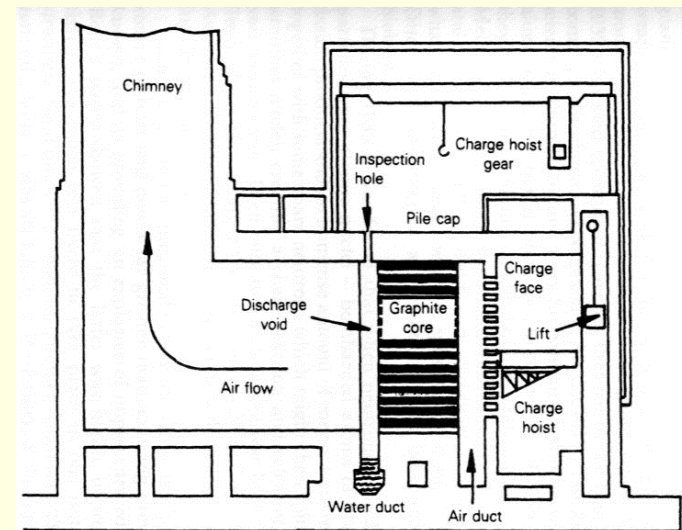
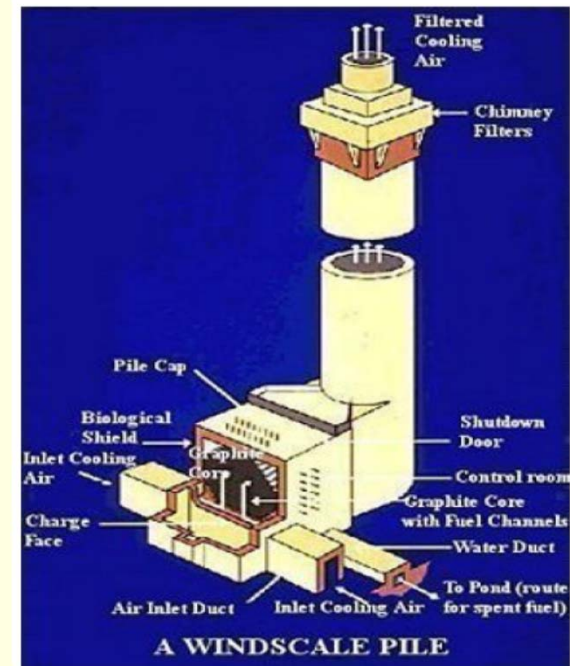


Figure 2 A section through the pile

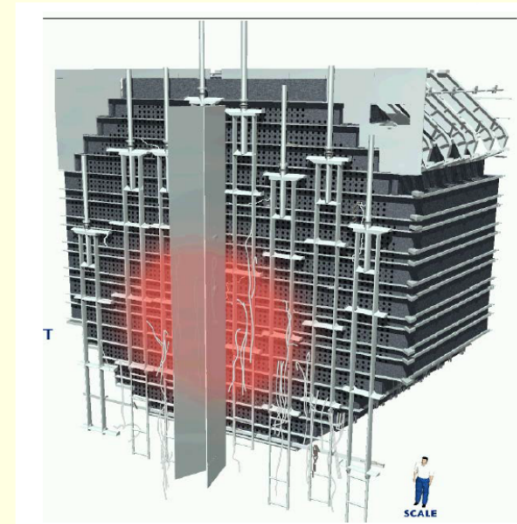
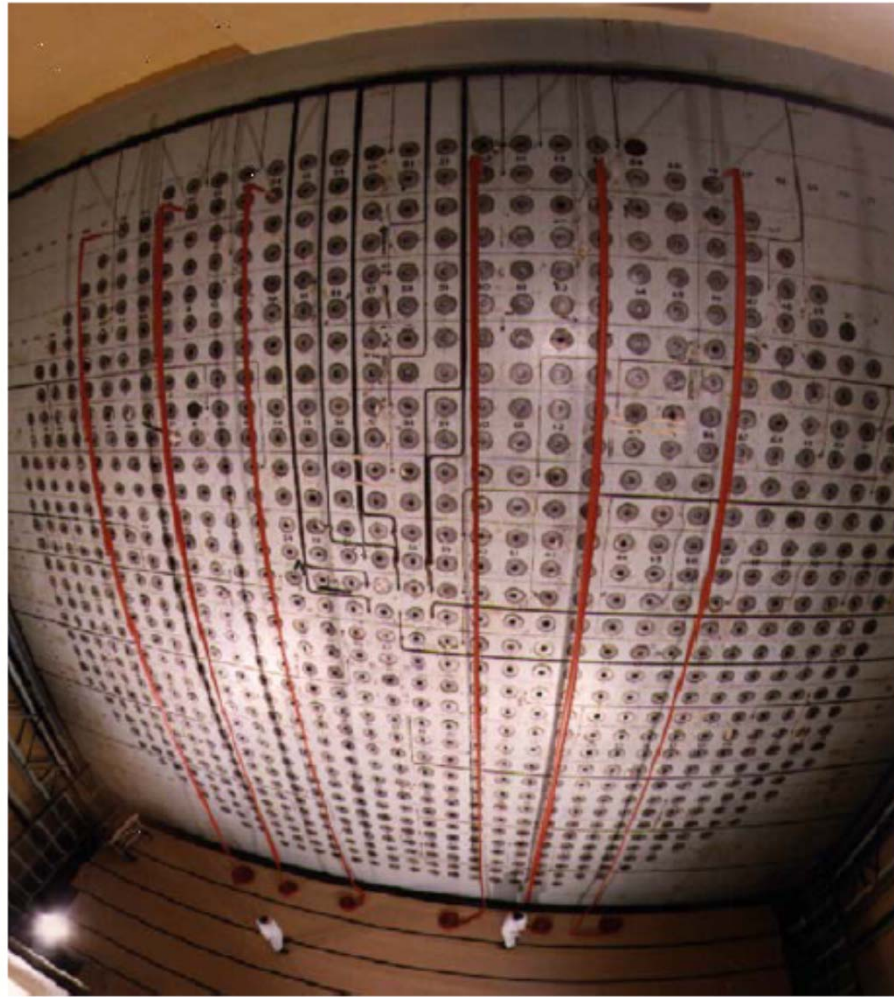
**黒鉛減速・空気冷却（ワンスルー）
チャンネル型**

ウィンスケール1号炉火災事故経過

- **1957年10月7日：**（黒鉛ブロックに蓄積されたウィグナーエネルギー解放のため）1号炉で第9回焼き鈍し作業開始。午後7時25分、臨界到達。
- **10月8日：**午前4時原子炉停止。エネルギー解放が続かず、温度低下したので、再び核加熱。
- **10月9日：**不安定だった温度が午後になって上昇。
- **10月10日：**放射能放出はじまる。黒鉛チャンネルの一部が赤熱化し、120本のチャンネルで火災。放射能放出はじまる。作業員は人力で燃料カートリッジの押し出し作業。
- **10月11日：**午前4時に炭酸ガス注入を行うが効果なし。午前9時に注水開始、約1時間で消火に成功。

ウインズケール炉の燃料チャンネルと火災部分

NUVIA UK 2014



黒鉛パイルの火災発生部分

Destroyed Fuel – Channel 23.54



燃料チャンネルと燃料交換用ギャラリー

放射能放出量と放射能汚染

Atmospheric Environment 2007

Atmospheric emissions from the Windscale accident of October 1957[☆]

J.A. Garland^{a,*}, R. Wakeford^{b,1}

Table 2
Summary of emission estimates derived in this study compared with those of previous studies (TBq)

Nuclide	Beattie (1963) ^c	Clarke (1974)	Crick and Linsley ^d	Manson (1983)	Chamberlain (1996)	This paper	
						Best estimate	Range
¹³¹ I	740	600	1.0 ^a		1000	1800	900–3700
¹³⁷ Cs	22.2	45.5	0.03 ^a		90	180	90–350
¹³⁰ Te	444	596	0.59 ^a			1300	280–6300
⁸⁹ Sr	2.96	5.1	0.0041 ^a		< 40 ^e	26	6–110
⁹⁰ Sr	0.074	0.222	1 × 10 ^{-4a}		< 1	0.75	0.18–3.1
¹⁴⁴ Ce	2.96	4.03	0.0041 ^a			13	1.6–50
¹⁴⁰ Ba		6.36	0.011 ^a			69	15–300
¹⁰³ Ru		40				72	19–270
¹⁰⁶ Ru	2.96	5.92	0.0041 ^a			3	1–30
²¹⁰ Po			8.8 ^b		20	42	14–110
³ Hg			5000 ^b		3000	5000	500–6000
⁹⁵ Zr		7.55	0.013 ^a			16	3.6–65
⁸⁵ Kr		59.2	0.098 ^a			45	17–120
¹³³ Xe		1.23 × 10 ⁴	21 ^a		10 000	26 000	8000–80 000
^{131m} Xe		65.3	0.11 ^a				
²³⁸ U			6 × 10 ^{-5b}		6 × 10 ⁻⁵	2.5 × 10 ⁻⁴	5 × 10 ⁻⁵ –10 ⁻³
²³⁹ Pu			1.6 × 10 ^{-3b}		2 × 10 ⁻³	0.02	0.003–0.1
⁶⁰ Co				107		7	2–30
¹⁴ C				0.11		0.1	0.03–0.3
³⁵ S				1.2		1.2	0.3–3
¹⁵² Eu				52		2.1	0.1–40

ヨウ素131：1800 TBq（福島：約12万 TBq、チェルノブイリ：約180万 TBq）

セシウム137：180 TBq（福島：約1万5000 TBq、チェルノブイリ：約8万TBq） 22

放射能放出量と放射能汚染

Atmospheric Environment 2007

A study of the movement of radioactive material released during the Windscale fire in October 1957 using ERA40 data

C.A. Johnson*, K.P. Kitchen, N. Nelson

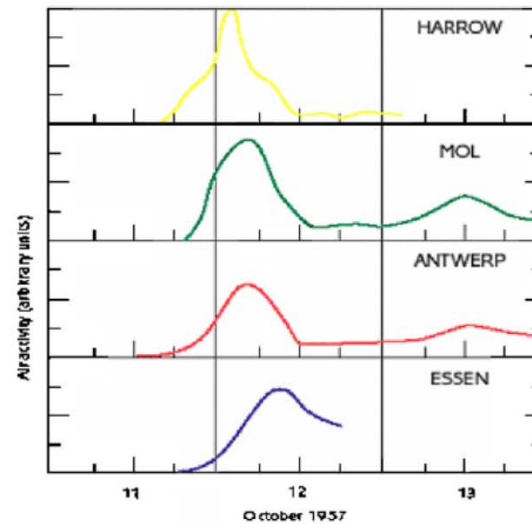


Fig. 3. Variations in air beta activity recorded at several stations on 11-13 October 1957 (from Crabtree, 1959).

大陸でも観察された放射能上昇

＜ウィンズケール事故の規模＞

国際事故評価尺度：レベル5

予測ガン死：約100件

予測非致死ガン：100～200件

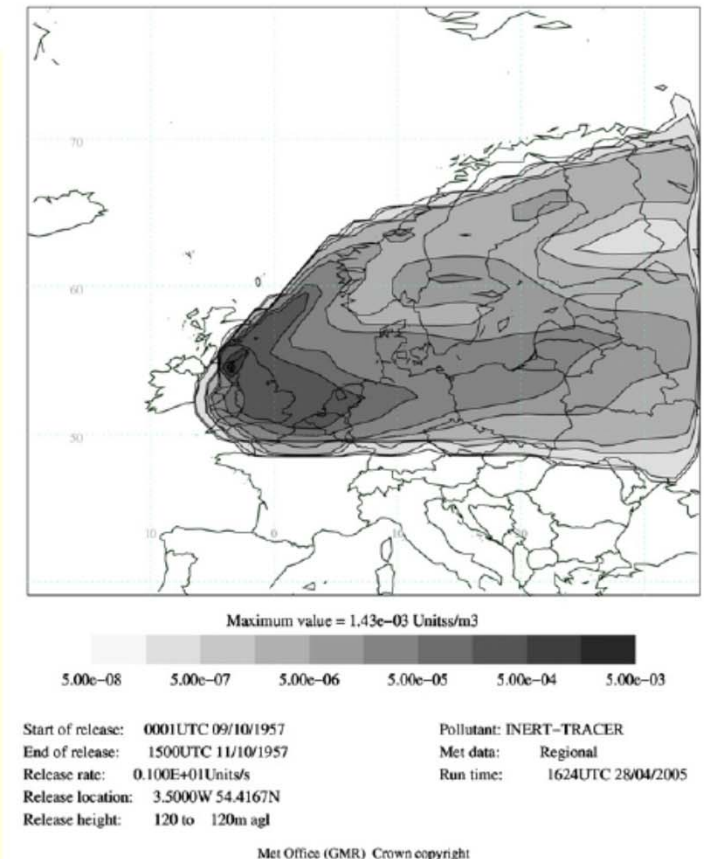


Fig. 6. Modelled time integrated air concentrations up to 12:00 on 15 October 1957 for the continuous release.

大気輸送モデル計算

消火作業員の被曝量

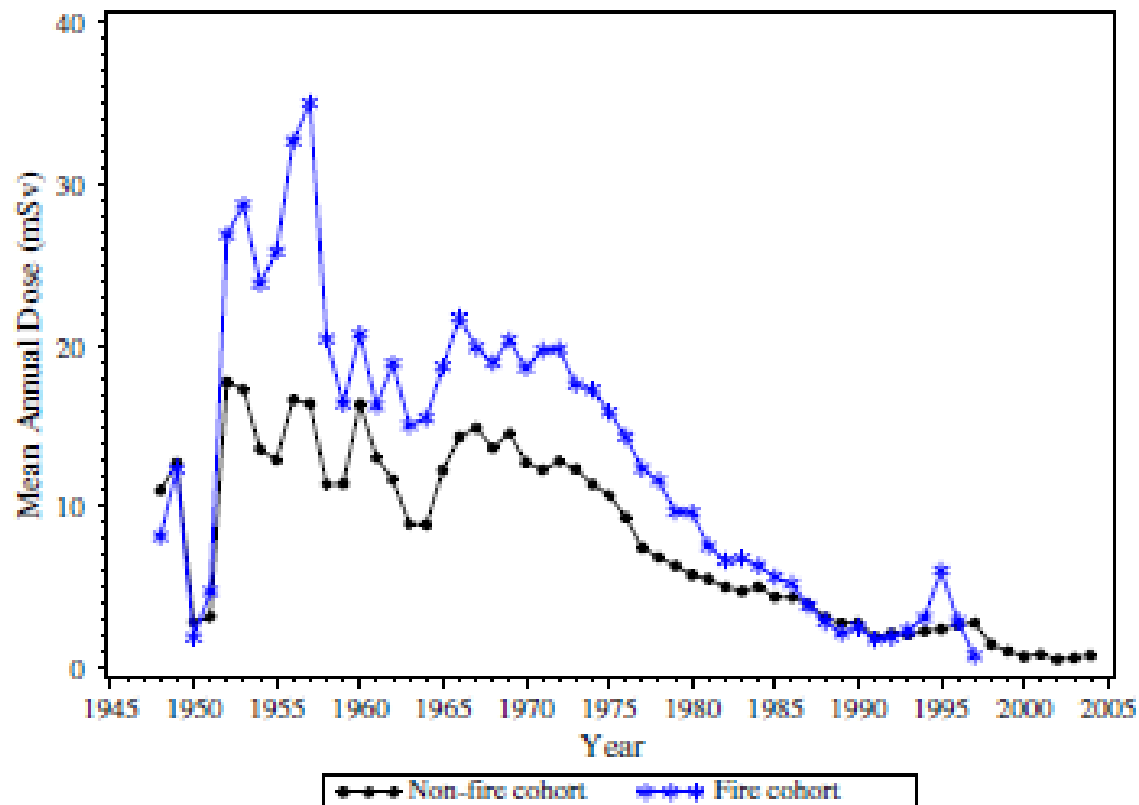
J Radiol Prot 2010

Mortality and cancer registration experience of the Sellafield workers known to have been involved in the 1957 Windscale accident: 50 year follow-up

D McGeoghegan^{1,3}, S Whaley¹, K Binks¹, M Gillies¹, K Thompson¹ and D M McElvenny^{1,2}

Table 1. Vital status on 10 October 2007.

	Non-fire cohort workers	Fire cohort workers
Total number of male workers	2926	470
Alive 10 October 2007	710	121
Deaths, all causes	2152	346
Deaths, malignant cancers	585	83
Malignant cancers registrations (1971–2005)	757	150
Embarked	56	3
Untraced	3	0
Person-years experience	95 362	16 312



火災のとき『3カ月30mSv』
を越えたのは14人。
最大は47mSv

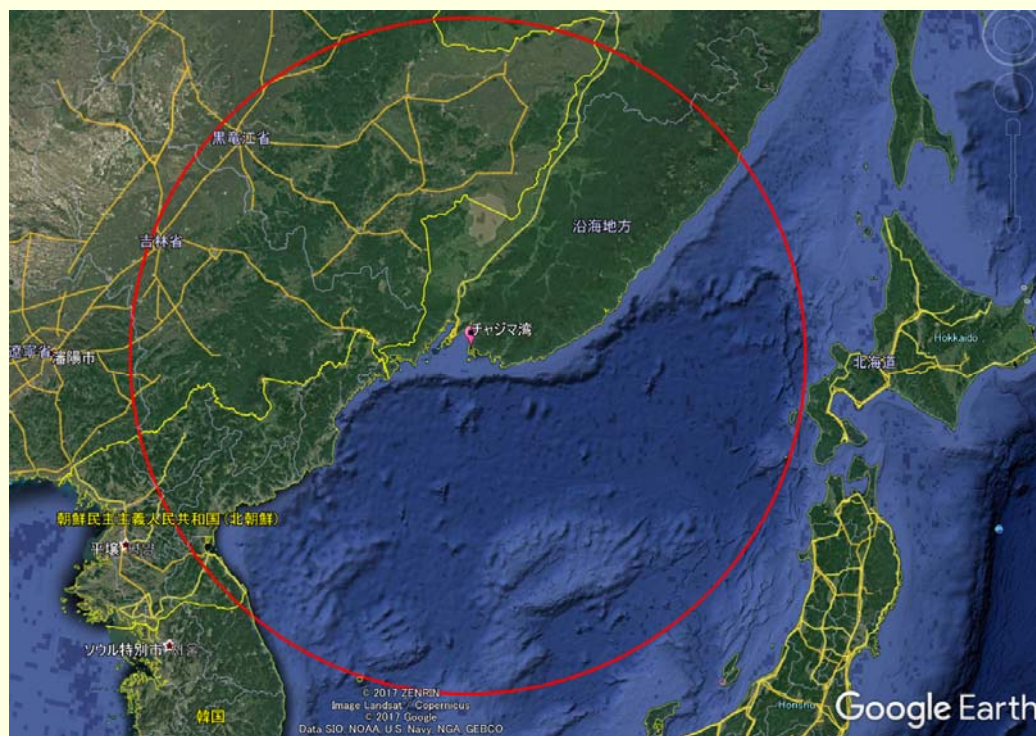
ウィンスケール労働者の年間外部被曝量

現在のセラフィールド



旧ソ連の原子力潜水艦事故

- 旧ソ連では、1958年のK-3にはじまり、約250隻の原子力潜水艦が建造されたが、数々の事故を起こしている。
- ノルウェーのNGOベローナの報告(1997)によると、旧ソ連の原潜で11件の原子炉事故が報告されている。
- 1985年8月10日には、ウラジオストク郊外のチャジマ湾で原潜の臨界爆発事故が発生し10人が即死した。



チャジマ湾からの600km円

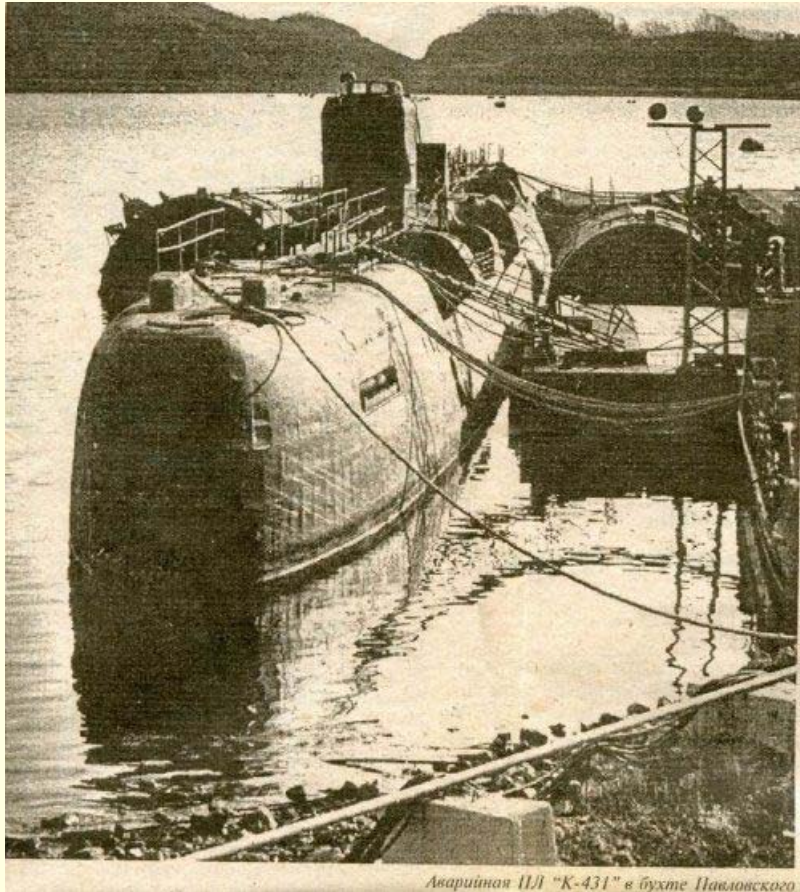


2008年9月ウラジオストクを偵察(?)

БЫЛА ЛИ АВАРИЯ В ЧАЖМЕ ДАЛЬНЕВОСТОЧНЫМ ЧЕРНОБЫЛЕМ?

Сивинцев Ю.В. (РНЦ «Курчатовский ин-т»)

チャジマ湾の事故は極東のチェルノブイリか？



Аварийная ПЛ "К-431" в бухте Павловского

K-431 : 1965年就航

エコーII型巡航ミサイル原潜

約5000トン、7万kWt原子炉2基

●1985年8月10日、ウラジオストック近郊の旧ソ連海軍基地で燃料交換作業中の原潜K-431で臨界爆発事故が発生、その後火災。

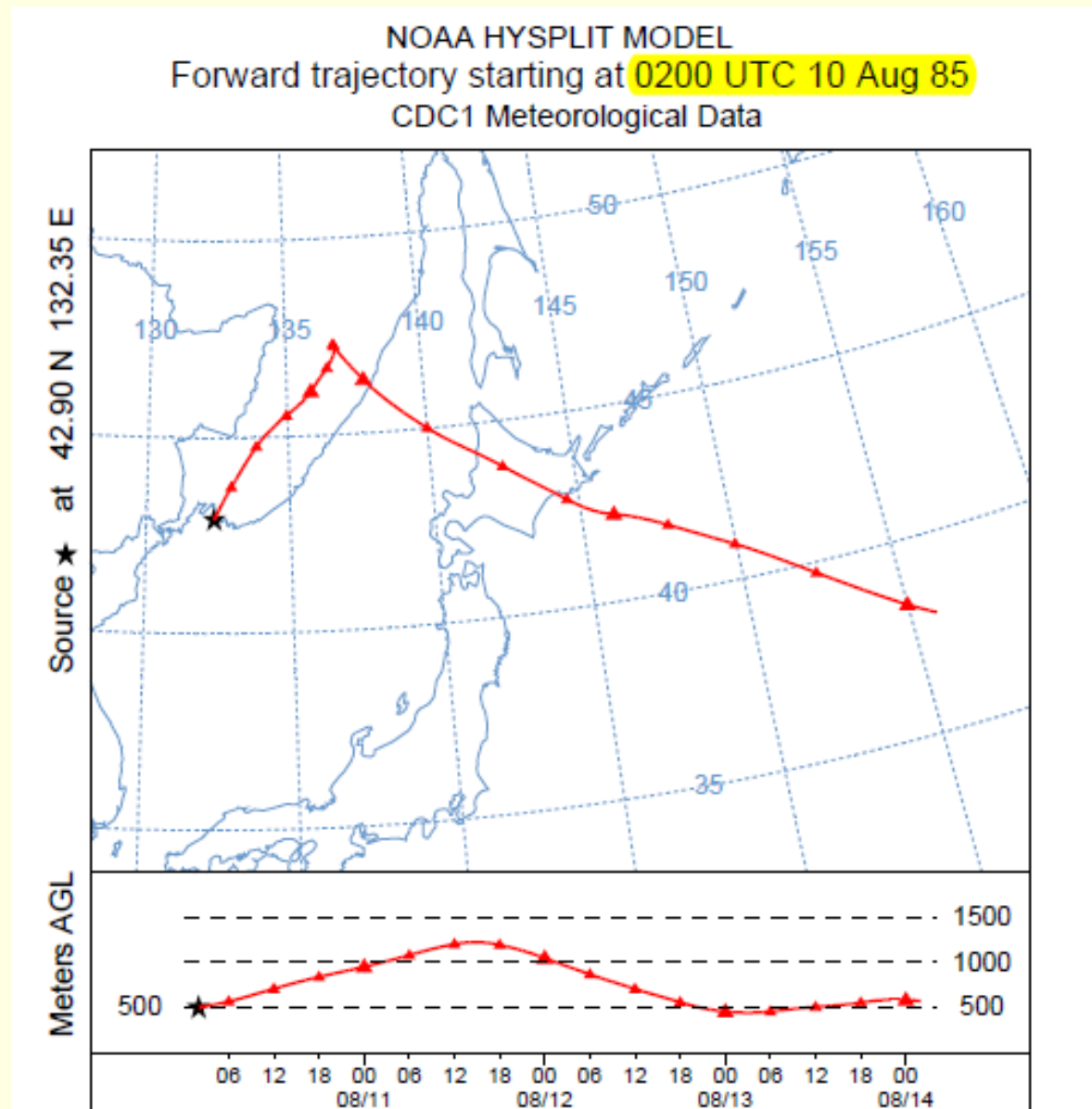
●原子炉の蓋が吹っ飛んで10人が死亡、放射線障害49人、基準値を越えた被曝が290人。

●放出された放射能は北西への風により、風下6.5kmにわたって陸地を汚染。

●新燃料であったため、ヨウ素131は6.4GBq、セシウム137は0.023GBqと少なかった。

核分裂数は 5×10^{18} (U235で4mg)

NOAAの大気輸送シミュレーション ツールによるプルームの軌跡



**1985年8月10日
標準時 02:00
高さ0mで発生
96時間分**

ホントかなあ！

放出放射エネルギーの比較

	放出放射エネルギー、PBq		
	I-131	Cs-137	Sr-90
テチャ川 1949-56	—	4	21
ウラルの核惨事 1957	—	0.3	11
ウィンズケール火災事故 1957	1.8	0.18	0.00075
K-431原潜臨界事故 1985	6×10^{-6}	2×10^{-8}	2×10^{-9}
チェルノブイリ原発事故 1986	1800	80	10
福島第1原発事故 2011	120	15	0.1

●とりあえずまとめると、
原子力開発とは核災害の歴史であった

●チェルノブイリを調べてきた今中の教訓
**原子力の専門家が明らかにできることは、
災難全体の一部でしかない**

●今中がこれまでやってきたことは、
“NSRG” ならびに” KURRI-KR” で
検索ください

ご静聴ありがとうございました！