



見えない放射線を可視化する/福島原発事故がもたらした汚染の一面

山内, 知也

(Citation)

Kernel開設5周年記念講演会:1-30

(Issue Date)

2011-10-26

(Resource Type)

learning object

(Version)

Version of Record

(URL)

<https://hdl.handle.net/20.500.14094/81003450>



Kernelが拓く研究の未来

見えない放射線を可視化する
福島原発事故がもたらした汚染の一面

山内知也

2011年10月26日

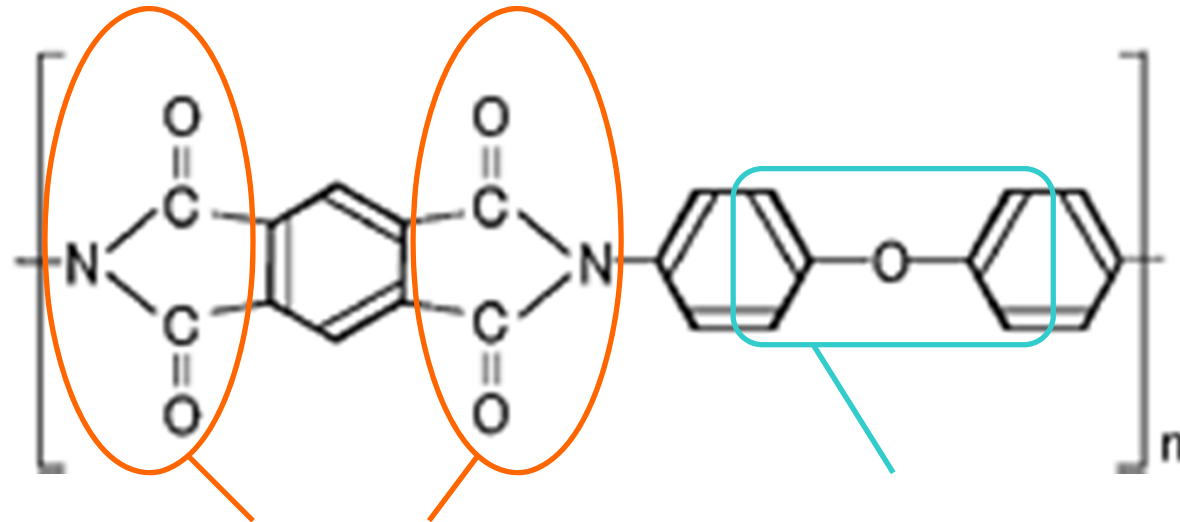
神戸大学瀧川記念学術交流会館

Polyimide

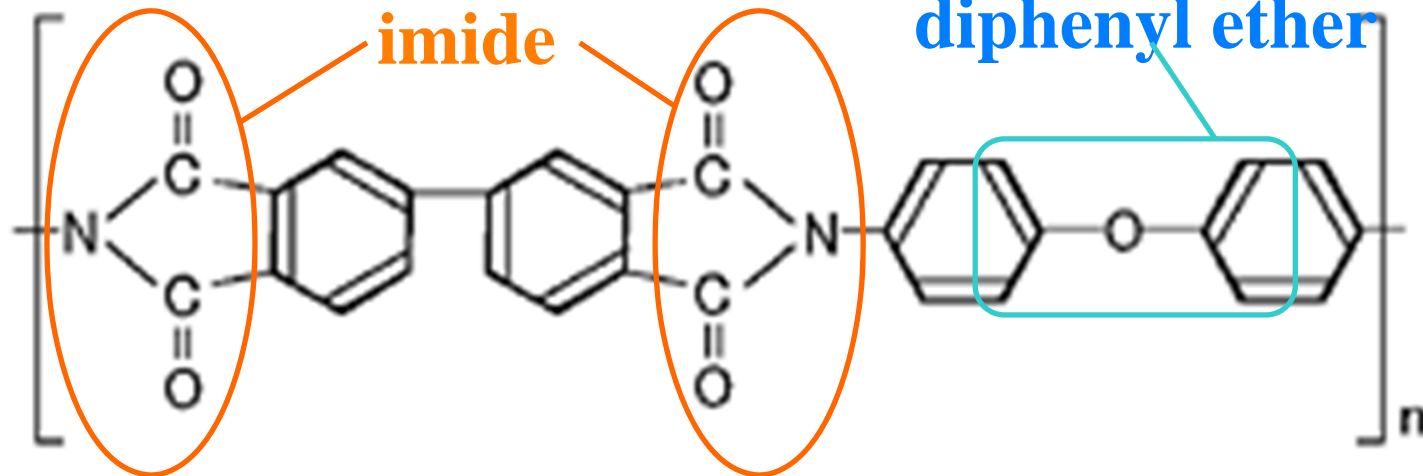
radio-resistive

radio-sensitive

- **KAPTON:**



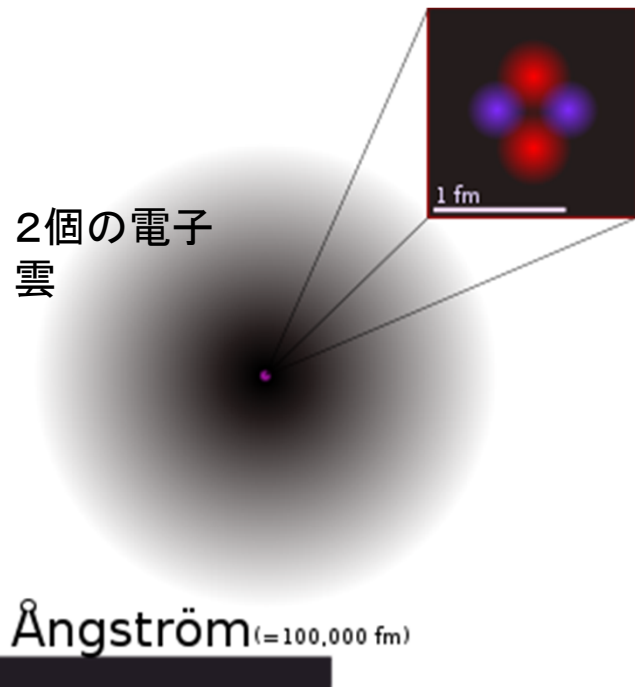
- **UPILEX**



原子って何？

原子の大きさ／原子核の大きさ

ヘリウムの原子核: He
2個の陽子p+2個の中性子n
アルファ線の正体

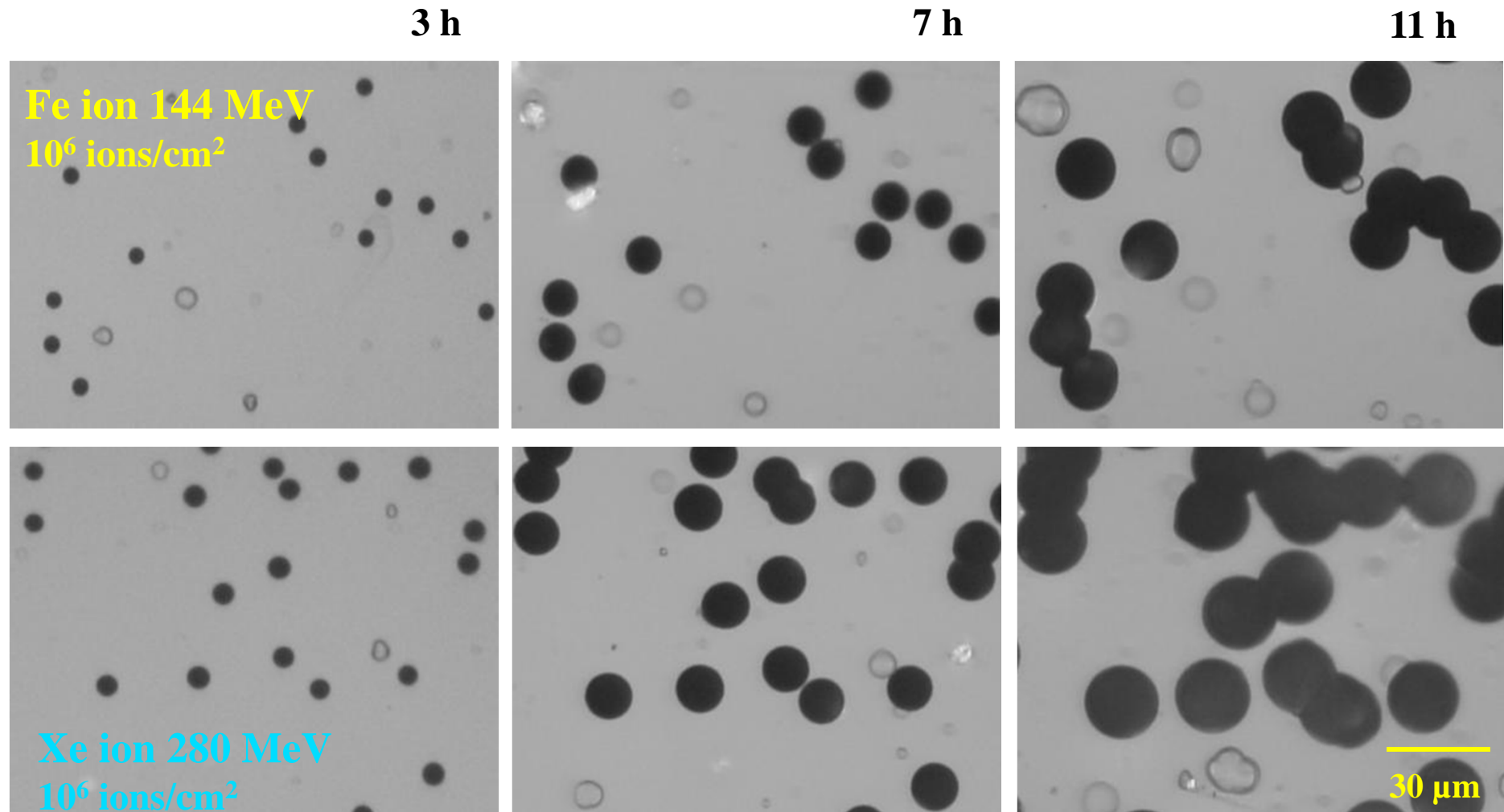


1 m	メートル
10 cm	
1 cm	
1 mm = 10^{-3} m	ミリメートル
100 μm	
10 μm	生物の細胞
1 μm = 10^{-6} m	マイクロメートル
100 nm	
10 nm	
1 nm = 10^{-9} m	ナノメートル
100 pm = 1 Å	原子のサイズ オングストローム
	1 mの千分の1の千分の1の千分の1の十分の1
10 pm	
1 pm = 10^{-12} m	ピコメートル
100 fm	
10 fm	
1 fm = 10^{-15} m	フェムトメートル 原子核のサイズ
	1 mの千分の1の千分の1の千分の1の千分の1の千分の1

元素の種類だけ原子がある／元素の種類以上に原子がある。
Cs-137とCs-134とは別の原子。

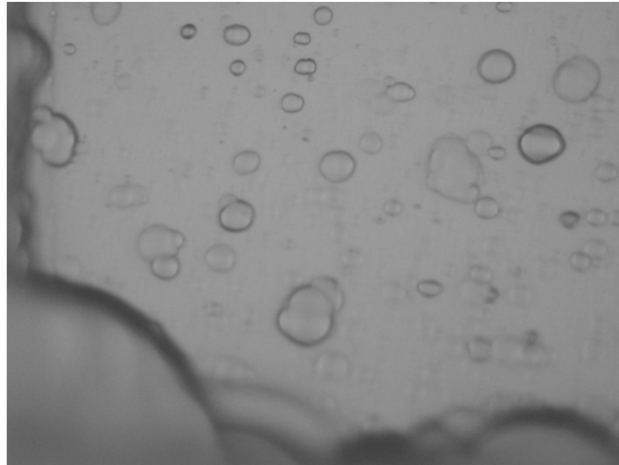
Etch pits on KAPTON

After etching in sodium hypochlorite at 55°C

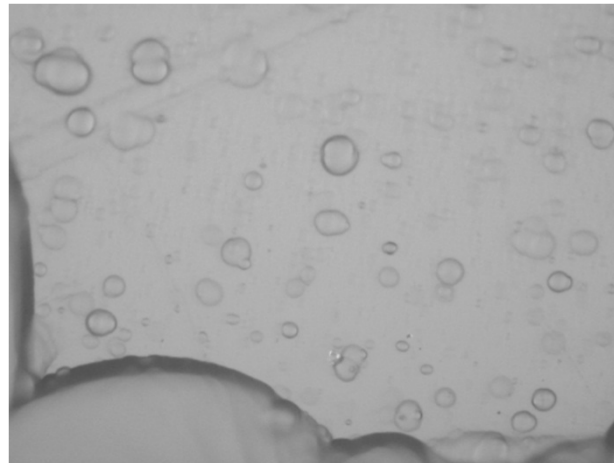


Etch pits on KAPTON

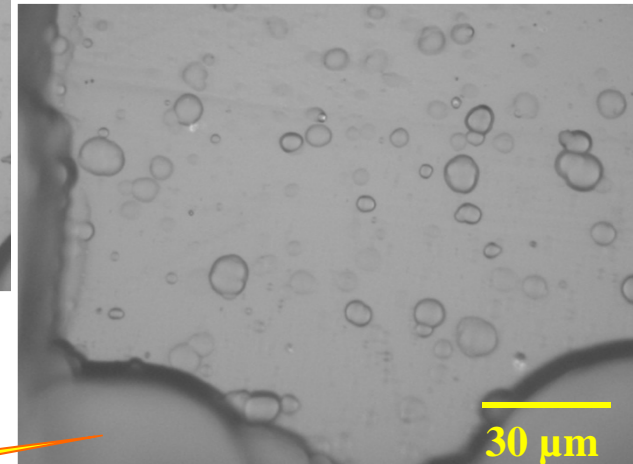
After 21 h etching in sodium hypochlorite at 55°C



H ion 5.6 MeV
 10^6 ions/cm²



C ion 57 MeV
 10^6 ions/cm²



Ne ion 79 MeV
 10^6 ions/cm²

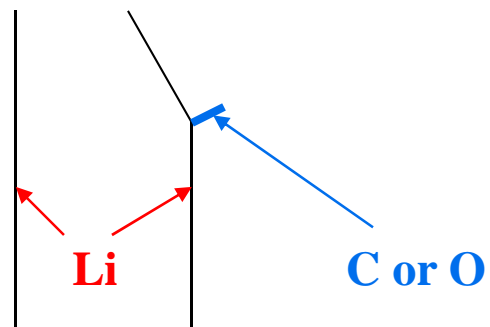
No etch pits!

エッチピットの断面

Triton

QuickTime[®] C²
èLí£ÉvEçEOÉâÉÄ
Ç™Ç±ÇÃÉsÉNE`ÉEC³¼å©ÇEÇžÇ½Ç...ÇÖiKóvÇ-ÇÅI

QuickTime[®] C²
èLí£ÉvEçEOÉâÉÄ
Ç™Ç±ÇÃÉsÉNE`ÉEC³¼å©ÇEÇžÇ½Ç...ÇÖiKóvÇ-ÇÅI



alpha-particle

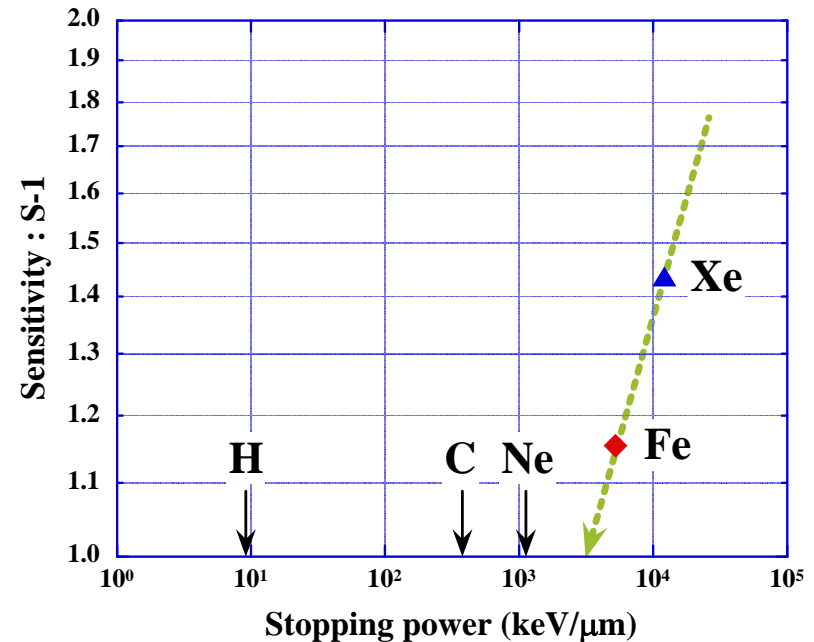
Evolution of etch pits

**Threshold for etchable
track
in KAPTON.**

Ne: 1,075 keV/ μ m

around 3,000 keV/ μ m

Fe: 5,160 keV/ μ m



**Fig. 6 Sensitivity of heavy ion
detection in KAPTON.**

IR spectra of KAPTON

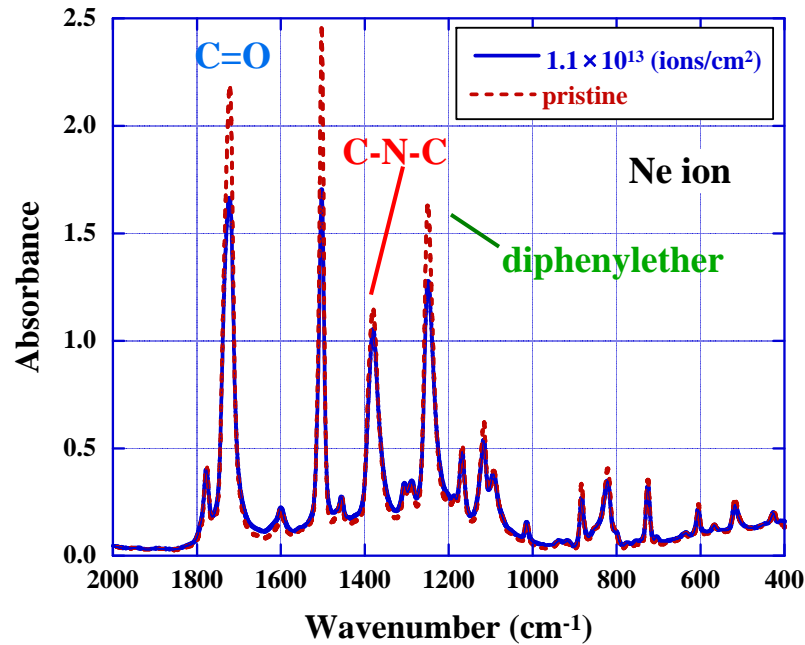


Fig. 1 IR spectra of KAPTON film with 2.5 μm thickness before and after the exposure to Ne ions.

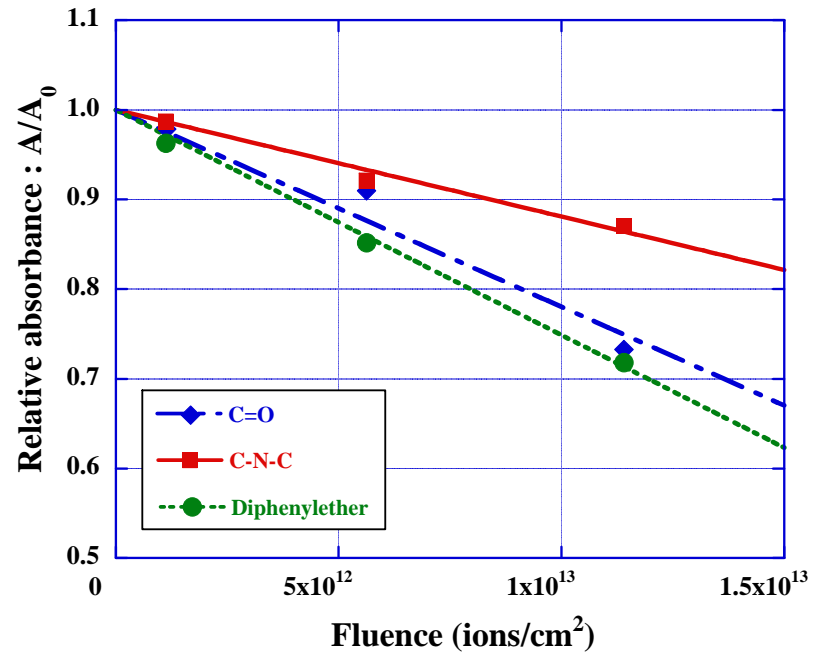


Fig. 2 Reduction of the relative absorbance of indicating bonds with the fluence of Ne ions.

IR spectra of KAPTON

$$\frac{A}{A_0} = 1 - \sigma F$$

$\frac{A}{A_0}$: Relative absorbance

σ : removal cross-section

Table 2 Removal cross-section (10^{-13} cm^2)

	C=O	C-N-C	Diphenyl ether
Ne	0.23	0.13	0.26
Fe	1.77	0.96	2.38
Xe	5.73	3.41	6.50

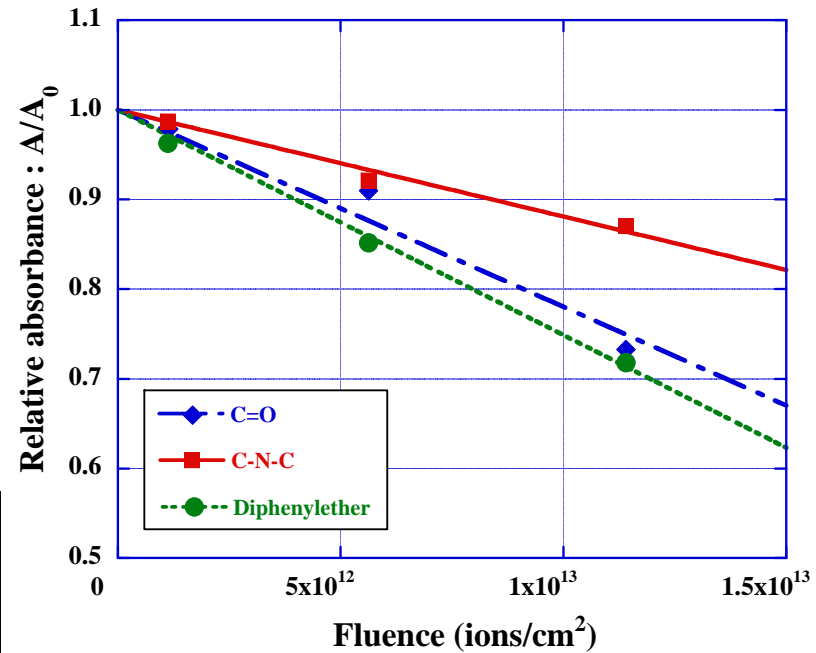


Fig. 2 Reduction of the relative absorbance of indicating bonds with the fluence of Ne ions.

Track core radius in KAPTON

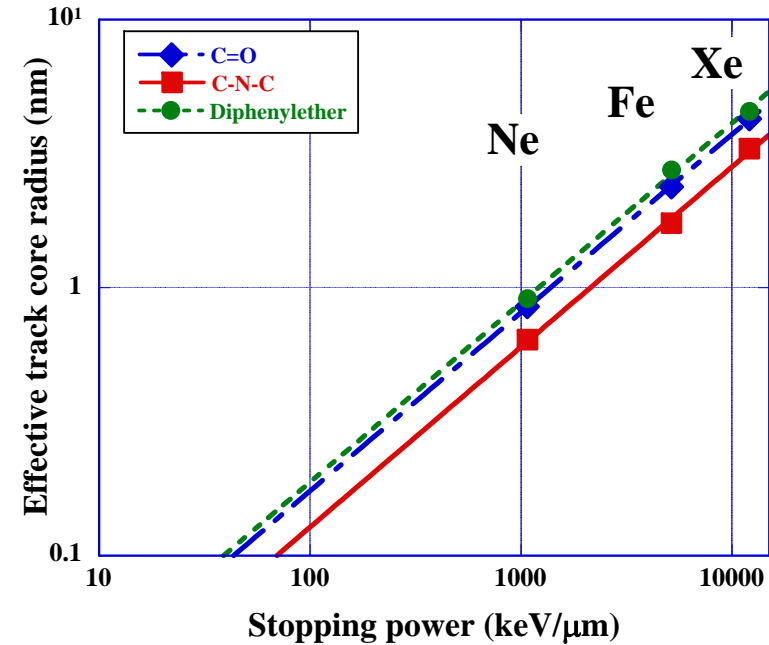
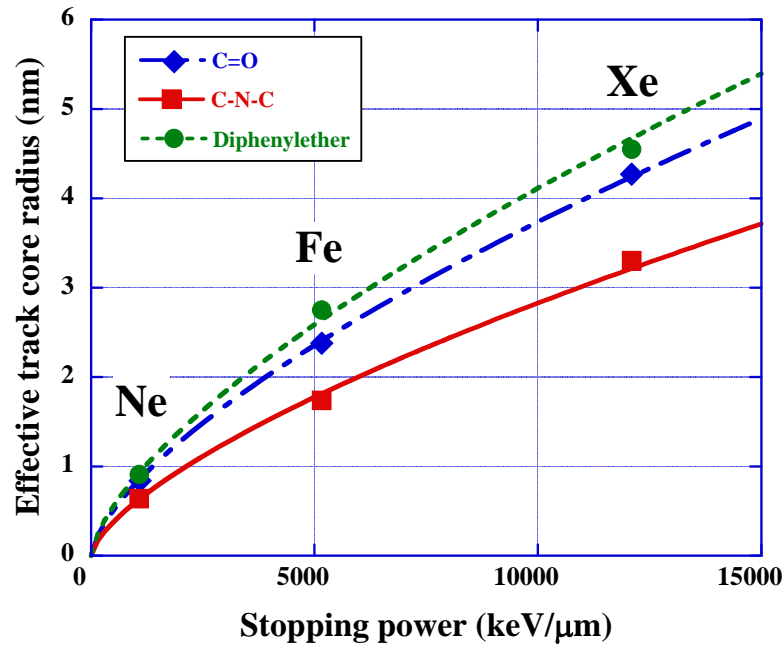
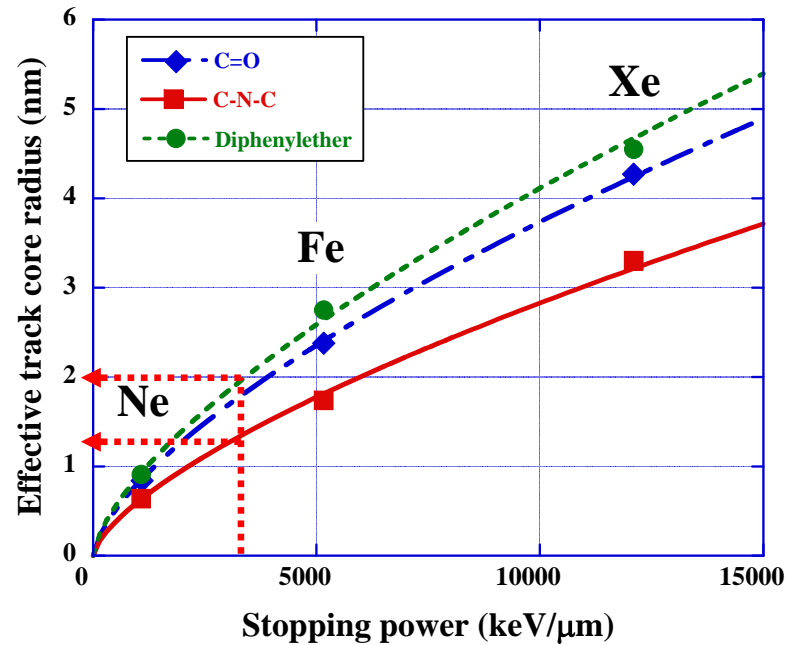


Fig. 3 Effective track core radius as a function of the averaged stopping power for loss of C=O, C-N-C, and diphenyl ether in KAPTON.

Track core is the region where the considering bonds are lost. And track core radius is:

$$\sigma = \pi r_t^2 .$$

Track core radius in KAPTON



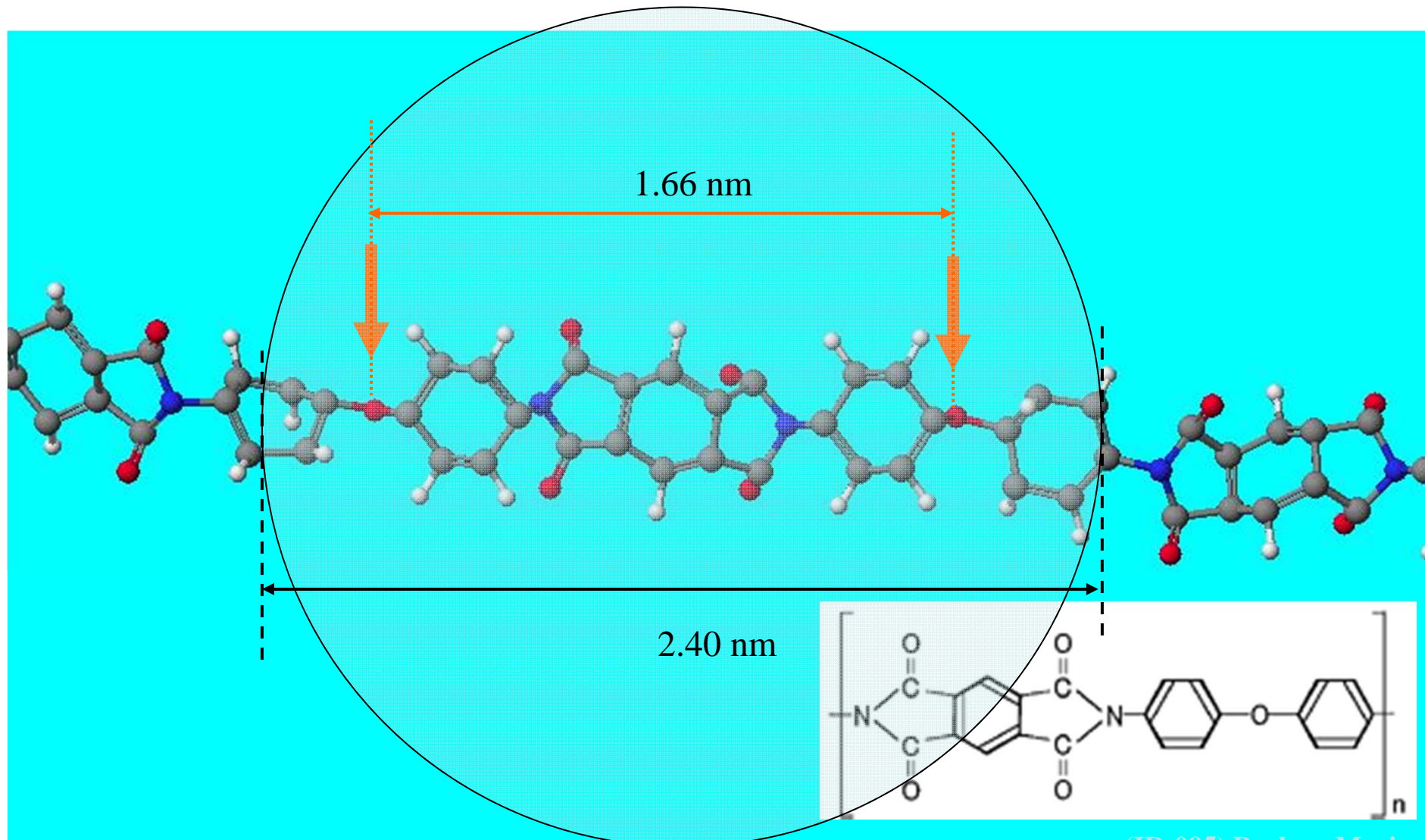
3,000 keV/μm
track core radius:

1.2 - 2.0 nm

2.4 - 4.0 nm in size

Fig. 3 Effective track core radius as a function of the averaged stopping power for loss of C=O, C-N-C, and diphenylether in KAPTON.

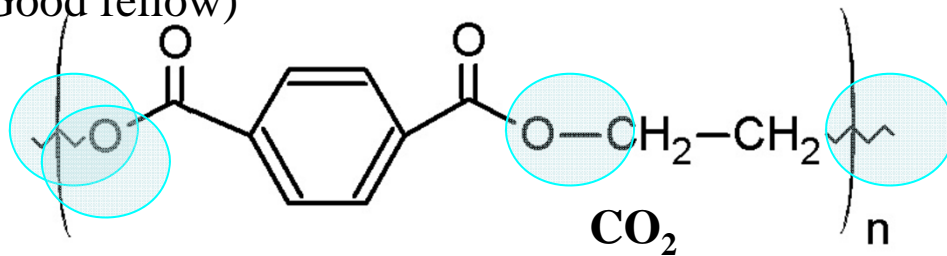
Breakings at two adjacent diphenylether



Review on PET, PC and PADC

- **PET:** polyethylene terephthalate

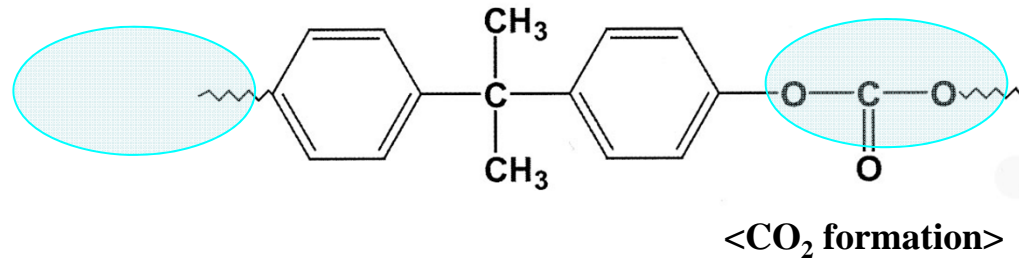
(Good fellow)



**Breaking at
two adjacent C-O bonds**

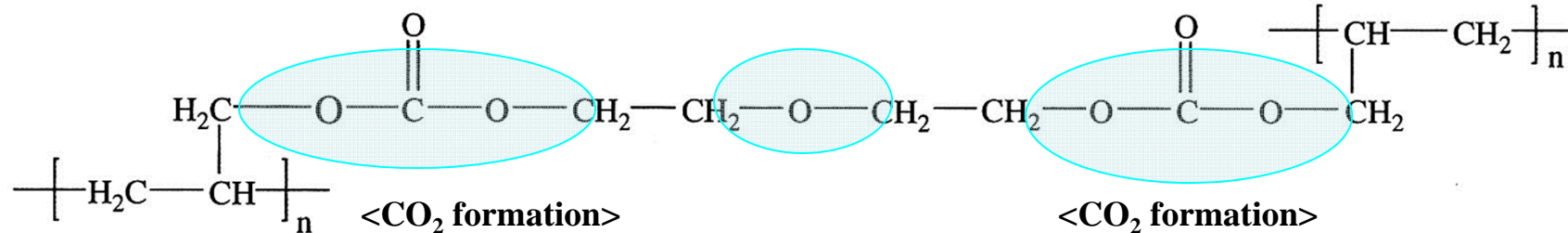
- **PC:** Bisphenol A polycarbonate

Macrofol KG (Good fellow)

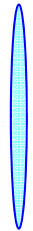


- **PADC:** poly(allyl diglycol carbonate)

BRYOTRAK (Fukuyi Chemical Industry) / **CR-39**



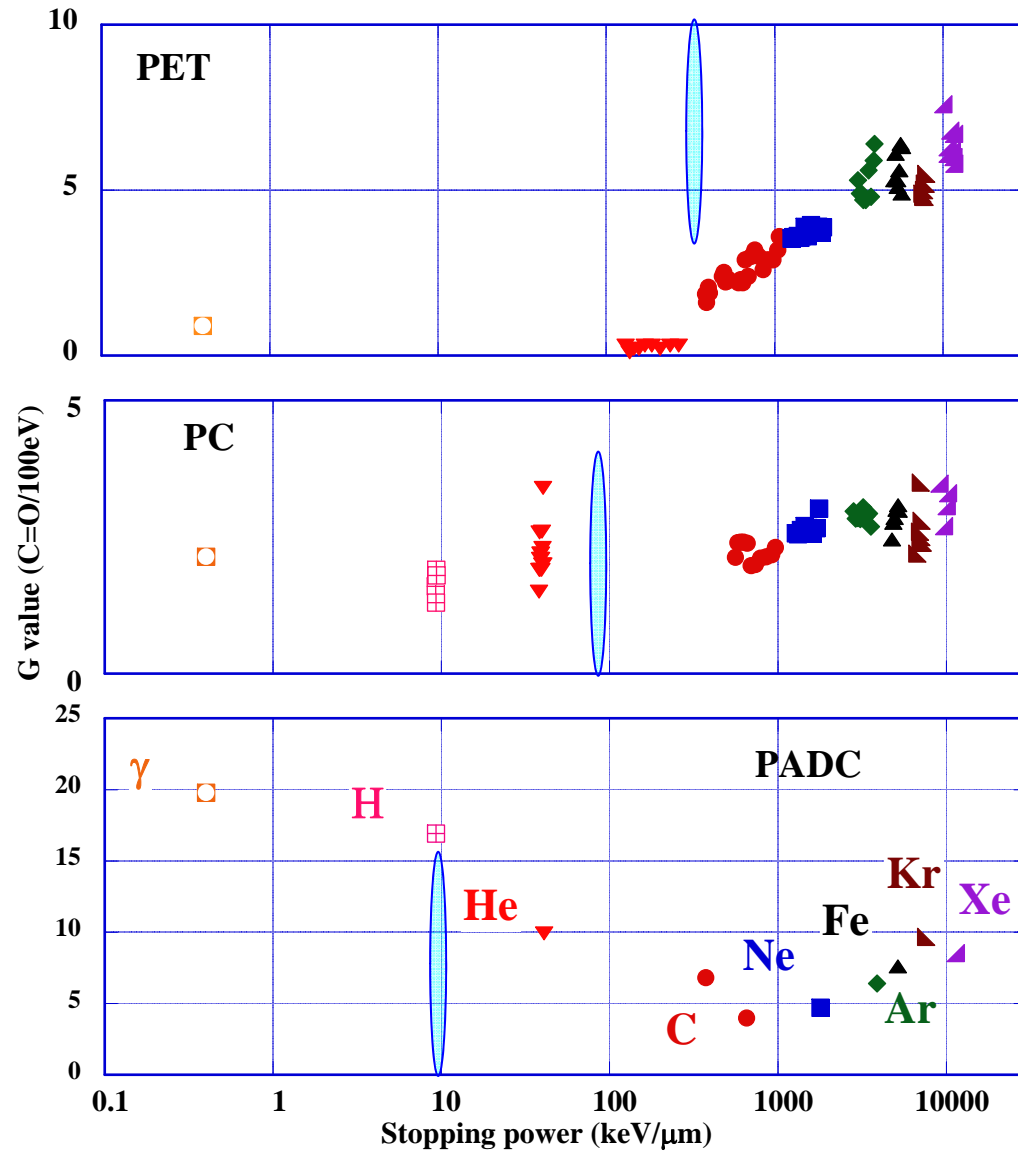
Review on PET, PC and PADC



: Threshold of the formation of etchable track

We can understand the threshold as results of simultaneous breaking at more than two adjacent C-O bonds in ester, carbonate ester and ether bonds in radial direction of ion tracks.

Fig. Radiation chemical yield as a function of the averaged stopping power for loss of C=O in PET, PC and PADC.



アポロ宇宙計画

QuickTime[®] C²
èLIEÈVÈçEOÈaÈÁ
Ç™Ç±ÇÃÈsÈNÈ ÈÉÇ¼a@ÇÈÇžÇ¼Ç...ÇÖIkóvÇ-ÇÁB

**Solid State Nuclear Track Detector
Etched Track Detector**

since 1960s

研究の背景・目的

**Apollo
helmet:**

**Track C
Zn ion
700 μm**

**Fleischer
“Tracks to innovation”
(1998)**

QuickTime® 2.0
ALIEVEcEOEAE
C™C=CAEsENE EEÇ%a@ÇEÇzÇ%Ç...ÇÖKwÇ-ÇAB

プルトニウムの検出

QuickTime[®] 2
éLíÉvÉçÉOÉâÉÄ
Ç™Ç±ÇÃÉsÉNÉ`ÉÉÇ¾å©ÇÈÇžÇ½Ç...ÇÕïKónÇ-ÇÅB

**Hot particle
of Pu**

トラック化学の確立

新しい固体飛跡検出器の分子設計

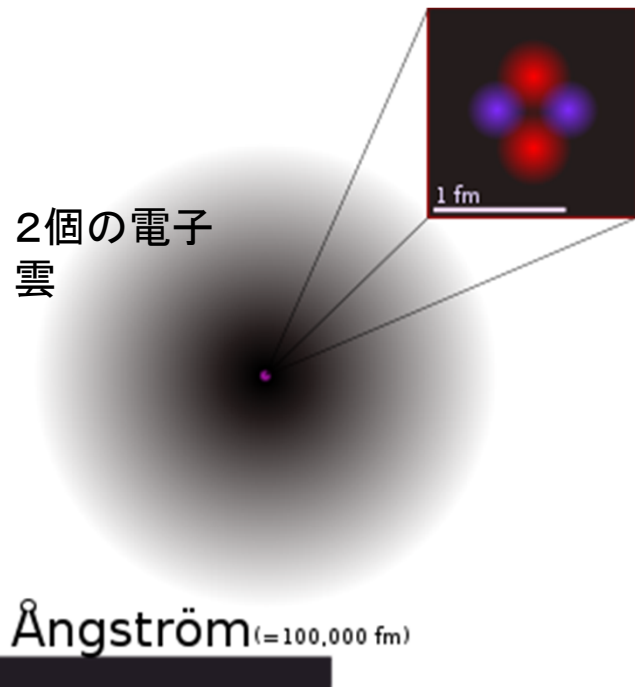
環境・宇宙放射線計測への応用

INTS(国際核飛跡協会)の発展

原子って何？

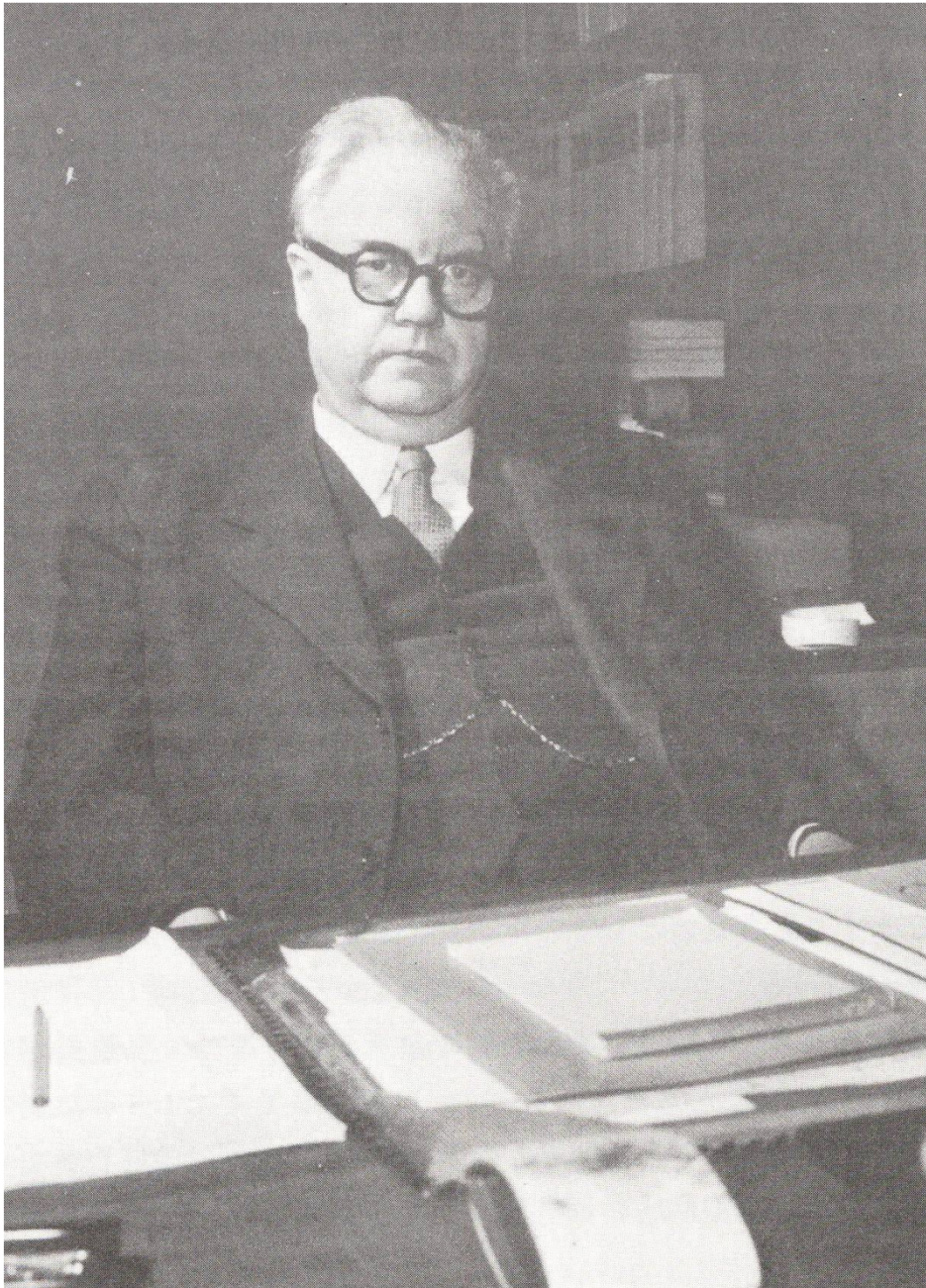
原子の大きさ／原子核の大きさ

ヘリウムの原子核: He
2個の陽子p+2個の中性子n
アルファ線の正体



1 m	メートル
10 cm	
1 cm	
1 mm = 10 ⁻³ m	ミリメートル
100 μm	
10 μm	生物の細胞
1 μm = 10 ⁻⁶ m	マイクロメートル
100 nm	
10 nm	
1 nm = 10 ⁻⁹ m	ナノメートル
100 pm = 1 Å	原子のサイズ オングストローム
	1 mの千分の1の千分の1の千分の1の十分の1
10 pm	
1 pm = 10 ⁻¹² m	ピコメートル
100 fm	
10 fm	
1 fm = 10 ⁻¹⁵ m	フェムトメートル 原子核のサイズ
	1 mの千分の1の千分の1の千分の1の千分の1の千分の1

元素の種類だけ原子がある／元素の種類以上に原子がある。
Cs-137とCs-134とは別の原子。



1886.5.6 - 1966.12.3.

シーベルトって何？

+

ロルフ・シーベルト

放射線の強度の目安

人体に吸収される
体重当たりのエネルギー

J/kg = Sv:シーベルト

0.05 μ Sv/h

マイクロシーベルト毎時

バックグラウンドレベル
神戸



ベクレルって何？+

アントワーヌ・アンリ・ベクレル

Bq:ベクレル

一秒間に壊れている
原子核の数

壊れること:壊変(かいへん)

セシウムCs-137が
バリウムBa-137に壊れる！

セシウムCs-134が
バリウムBa-134に壊れる！

1852.12.15 - 1908.8.25.

放射能って何？

ドミトリ・メンデレーエフ (Dmitrij Ivanovich Mendelejev) : 第1周期表 (1869)、第2周期表 (1871)

H 1766																	He 1868
Li 1817	Be 1798											B 1808	C —	N 1772	O 1774	F 1866	Ne 1898
Na 1807	Mg 1808											Al 1807	Si 1823	P 1669	S —	Cl 1774	Ar 1894
K 1807	Ca 1808	Sc 1879	Ti 1791	V 1801	Cr 1797	Mn 1774	Fe —	Co 1735	Ni 1751	Cu —	Zn 1746	Ga 1875	Ge 1886	As 1250	Se 1817	Br 1825	Kr 1898
Rb 1861	Sr 1808	Y 1797	Zr 1789	Nb 1801	Mo 1778	Tc 1937	Ru 1828	Rh 1803	Pd 1803	Ag —	Cd 1817	In 1863	Sn —	Sb —	Te 1782	I 1811	Xe 1898
Cs 1860	Ba 1808	Lanthanoid	Hf 1924	Ta 1802	W 1781	Re 1925	Os 1803	Ir 1803	Pt —	Au —	Hg —	Tl 1862	Pb —	Bi 1753	Po 1897	At 1940	Rn 1900
Fr 1938	Ra 1898	Actinoid	Rf 1969	Db 1970	Sg 1974	Bh 1981	Hs 1984	Mt 1982	Ds 1994	Rg 1994	Cn 1996						

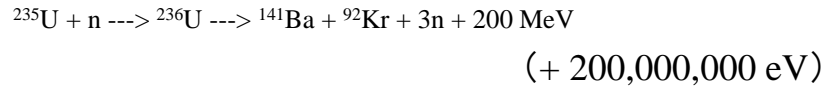
La 1839	Ce 1803	Pr 1885	Nd 1885	Pm 1947	Sm 1879	Eu 1901	Gd 1880	Tb 1843	Dy 1886	Ho 1879	Er 1843	Tm 1879	Yb 1878	Lu 1905
Ac 1899	Th 1829	Pa 1918	U 1789	Np 1940	Pu 1940	Am 1944	Cm 1944	Bk 1949	Cf 1950	Es 1952	Fm 1952	Md 1958	No 1958	Lr 1961

<ノーベル物理学賞> W. C. Roentgen: X線の発見 (1901)、H. A. Lorentz, P. Zeeman: 放射に対する磁場の影響 (1902)、H. A. Becquerel, P. Curie, M. Curie: 放射能の発見、放射能の研究 (1903)、Lord Rayleigh: 気体の密度に関する研究とアルゴンの発見 (1904)、P. E. A. Lenard: 陰極線の研究 (1905)、J. J. Thomson: 気体の電気伝導に関する理論的および実験的研究 (1906)、A. A. Michelson: 干渉計の考案とそれによる分光学およびメートル原基に関する研究 (1907)、G. Lippmann: 光の干渉を利用した天然色写真の研究 (1908)、G. Marconi, K. F. Braun: 無線電信の開発に対する貢献 (1909)、J. D. van der Waals: 気体及び液体の状態方程式に関する研究 (1910)、W. Wien: 熱放射に関する法則の発見 (1911)

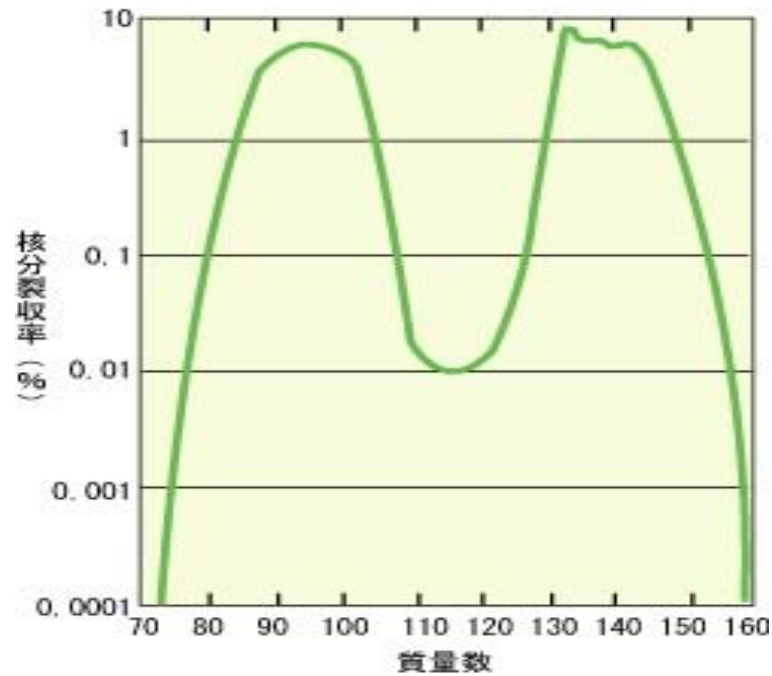
<ノーベル化学賞> J. H. van't Hoff: 化学熱力学の法則および溶液の浸透圧の発見 (1901)、E. Fischer: 糖およびプリン誘導体の合成 (1902)、S. A. Arrhenius: 電解質溶液の理論に関する研究 (1903)、W. Ramsay: 空気中の希ガス類諸元素の発見と周期律におけるその位置の決定 (1904)、J. F. W. von Baeyer: 有機染料とヒドロ芳香化合物の研究 (1905)、H. Moissan: フッ素の研究と分離、およびモアッサン電気炉の製作 (1906)、E. Buchner: 化学生物学的諸研究および無細胞的発酵の研究 (1907)、E. Rutherford: 元素の崩壊および放射性物質の化学に関する研究 (1908)、F. W. Ostwald: 触媒作用に関する研究および化学平衡と反応速度に関する研究 (1909)、O. Wallach: 脂環式化合物分野における先駆的研究 (1910)、M. Curie: ラジウムおよびポロニウムの発見とラジウムの性質およびその化合物の研究 (1911)

元素の種類だけ原子がある／元素の種類以上に原子がある。
CsとBaは別の元素。Cs-137とCs-134とは別の原子。

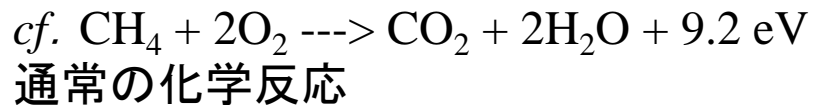
核分裂と放射能



バリウム クリプトン

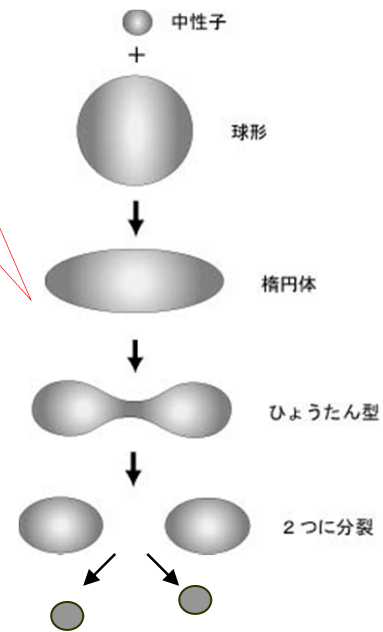


核分裂生成物の分布
(ウラン-235が熱中性子で分裂する場合)



ウランの原子核: U
92個の陽子 + 143個の中性子

プラスの電気を帯びている陽子間の反発力が核力(湯川力)に打ち勝って原子核が割れる



放射能の素 →

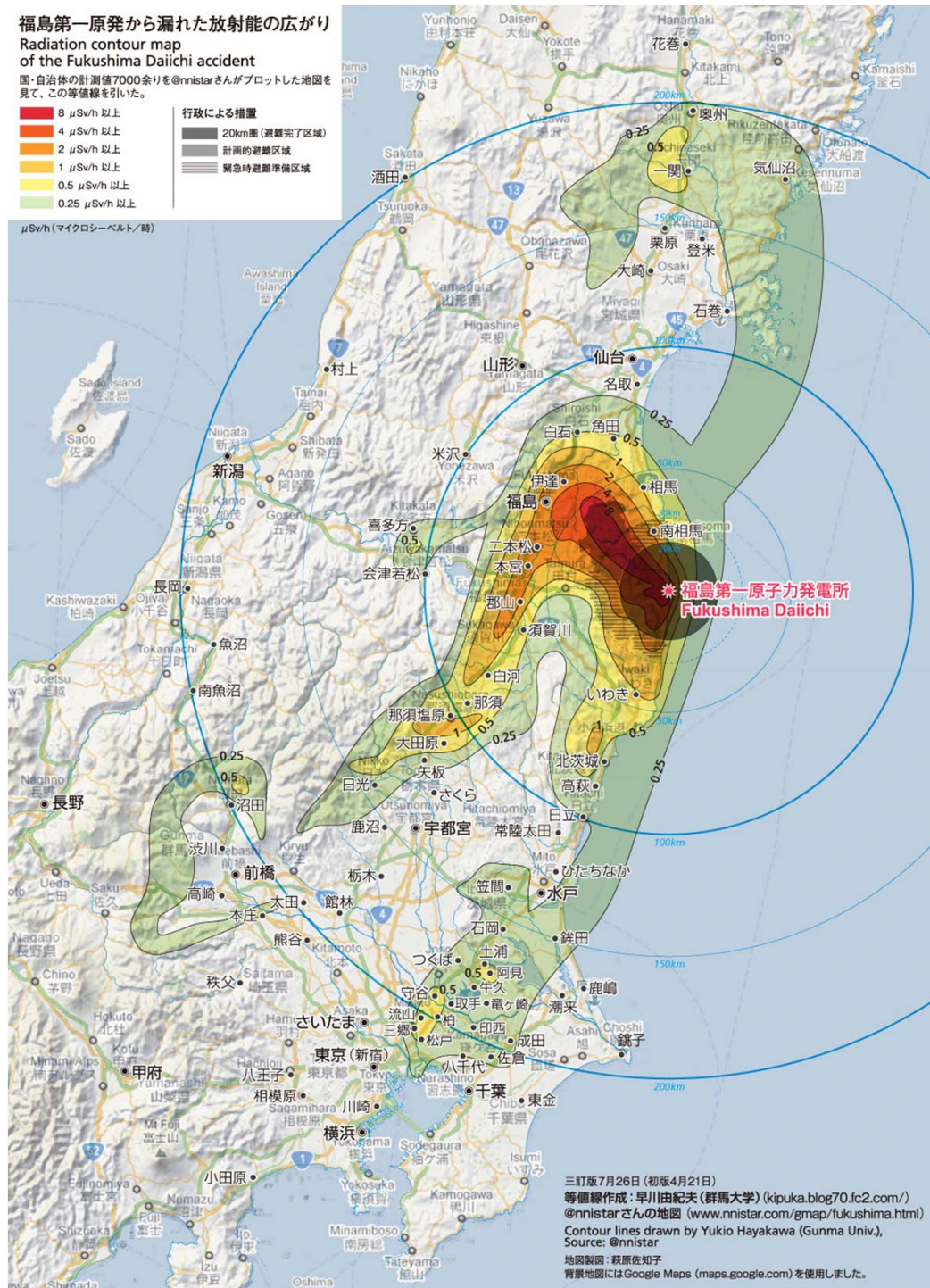
2~3個の中性子

福島第一原発から漏れた放射能の広がり
Radiation contour map
of the Fukushima Daiichi accident

国・自治体の計測値7000余りを@nnistarさんがプロットした地図を見て、この等値線を引いた。



$\mu\text{Sv/h}$ (マイクロシーベルト/時)



三訂版7月26日 (初版4月21日)
等値線作成: 早川由紀夫 (群馬大学) (kipuka.blog70.fc2.com/)
@nnistarさんの地図 (www.nnistar.com/gmap/fukushima.html)
Contour lines drawn by Yukio Hayakawa (Gunma Univ.),
Source: @nnistar
地図製図: 萩原佐知子
背景地図にはGoogle Maps (maps.google.com) を使用しました。

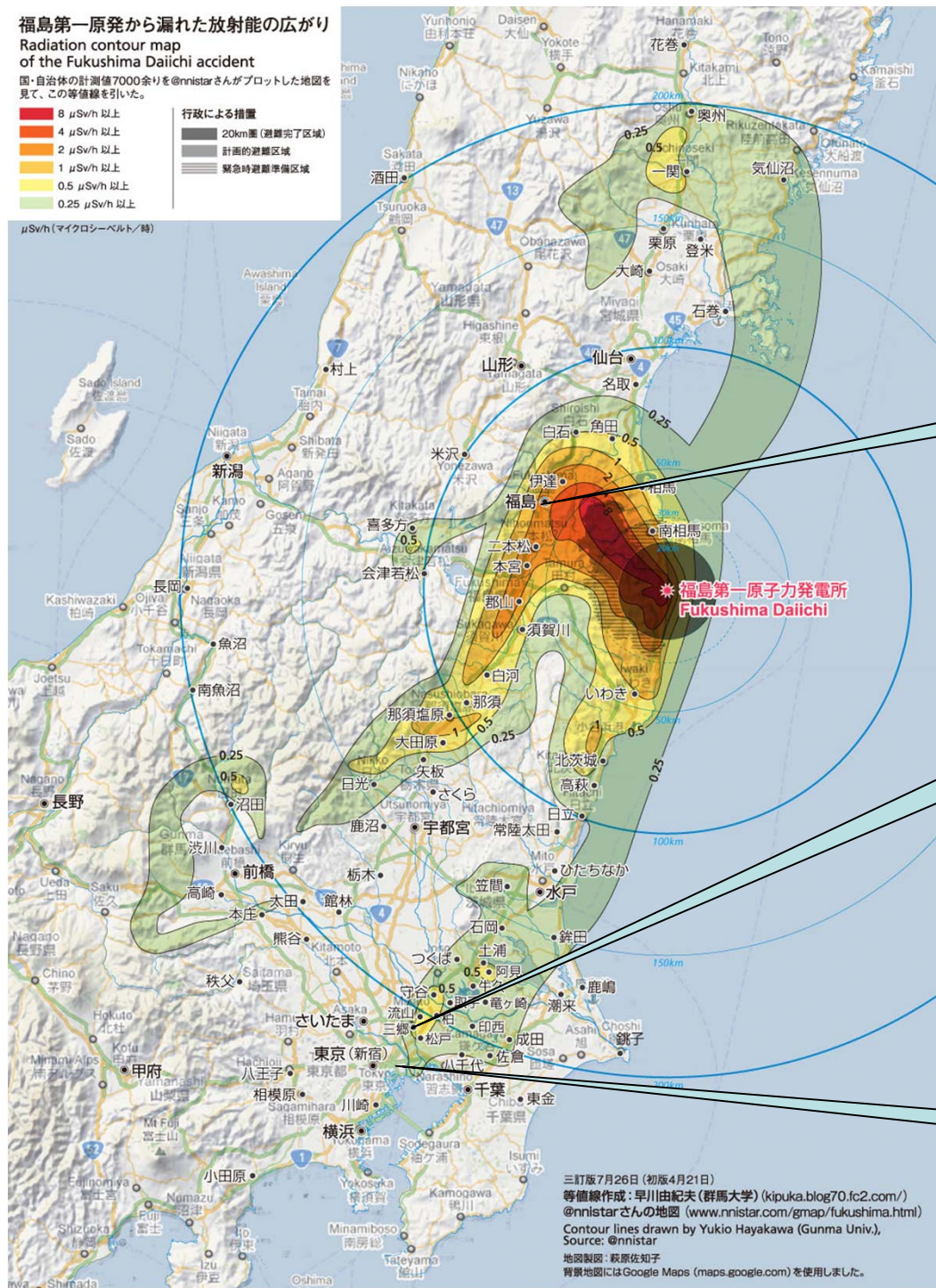
放射能って何？ 汚染マップ

福島第一原発から漏れた放射能の広がり
Radiation contour map
of the Fukushima Daiichi accident

国・自治体の計測値7000余りを@nnistarさんがプロットした地図を見て、この等値線を引いた。



$\mu\text{Sv/h}$ (マイクロシーベルト/時)



放射能って何？
汚染マップ

ふくしま
福島市

2011.6.26.
&2011.9.14.

みさとし
三郷市

2011.6.19.

こうとうく
東京都江東区

2011.5.21-22.

三訂版7月26日(初版4月21日)
等値線作成: 早川由紀夫(群馬大学) (kipuka.blog70.fc2.com/)
@nnistarさんの地図 (www.nnistar.com/gmap/fukushima.html)
Contour lines drawn by Yukio Hayakawa (Gunma Univ.),
Source: @nnistar
地図製図: 萩原佐知子
背景地図にはGoogle Maps (maps.google.com)を使用しました。

放射能って何？ 汚染マップ

0.1 - 0.2 $\mu\text{Sv}/\text{h}$
Cs-134&Cs-137
2300 Bq/kg

コンクリートと
古い木製ベンチ
の表面汚染

セシウムが雨で流れている
下水処理場やゴミ焼却場に
放射能が蓄積

神戸 0.05 $\mu\text{Sv}/\text{h}$

東京都江東区

2011.5.21-22.





ある小学校

放射能って何？
汚染マップ

セシウムに見られる天然の濃縮！

Cs-134&Cs-137
13,812 Bq/kg

「放射性同位元素」> 10,000 Bq/kg

三郷市

2011.6.19.



幼稚園の園庭の土を
少し取り除くだけで
容易にバックグラウンド
レベルにまで低下！

放射能って何？
汚染マップ

19,220 Bq/kg
小学校バス停

1 - 3 μ Sv/hv

ふくしま
福島市

2011.6.26.



大波

16,290 Bq/kg
農村広場野球場

17,640 Bq/kg
市営住宅公園

46,540 Bq/kg
道路の側溝

「放射性同位元素」の土で
子どもが遊んでいた。

渡利

渡利を避難勧奨地点に指定させよう。

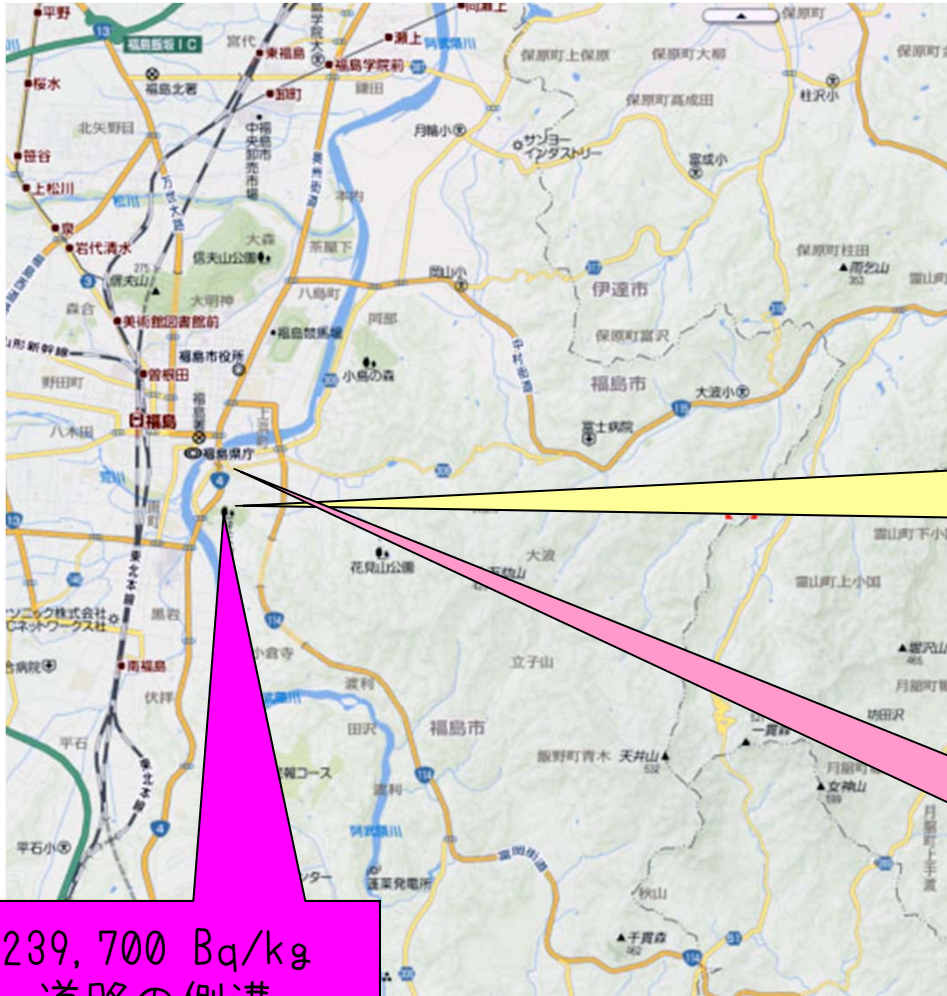
「放射性同位元素」が堆積、濃縮されている。
除染の限界／街を作り替える必要あり。

放射能って何？
汚染マップ

1 - 3 $\mu\text{Sv}/\text{h}$

ふくしま
福島市

2011.9.14.



307,565 Bq/kg
薬師町内溝

157,274 Bq/kg
八幡神社

239,700 Bq/kg
道路の側溝

渡利を避難勧奨地点に指定させよう。

まとめ

除染の限界：側溝の泥をどかしても線量は下がらない。
生活環境からセシウムをはじめとする放射能を除去すること。

居住空間の安全：室内の空間線量を0.05 $\mu\text{Sv/h}$ 以下にする。
屋根をふき替える。窓に近い庭の樹木の除染。
寝ている時間と家にいる時間の安全 $16/24 = 2/3$

幼稚園の安全：園庭の土壌とコンクリート、建物の屋根、植え込み、芝生
小学校の安全：
中学校の安全：

通学路の安全：アスファルトの舗装と側溝のコンクリートを新しくする。

家庭の庭の安全：
商業空間の安全：
職場の安全：

食品、水、空気

渡利を避難勧奨地点に指定させよう。