

測定値から見る放射線測定器の性能

第12報 自然放射線の測定による断層調査

非破壊検査株式会社 藪下延樹

1. はじめに

原発事故後、放射線測定や放射線測定器(以下、測定器)の性能が関心事となり、第10報で自然放射線(バックグラウンド、略してBG)の解説を行った。昨年文部科学省は原発事故による放射能汚染を測定するために日本全域のBG測定を実施した。このデータを利用して、“ガンマ線探査の断層調査”の可能性を西日本についてシミュレーションした。

2. BGの源泉と線量

BGの源泉は、銀河系内外のエネルギー源を「原子核融合」^{<1>}とする恒星や太陽及び地球の自然界と言える。元々地球そのものが天然の原子炉であった痕跡も発見されている^{<2>}。つまり、地球は元々、天然自然に放射能が存在し、常に僅かであるが放射能や放射線を出し続けている。これら宇宙線や地球からの自然放射線の源泉、伝播経路及び被ばく線量の年間平均値を国連科学委員会報告(UNSCEAR、2000)^{<3>}で図1に示した。同図から人は年間被ばく線量の20%を地球の大地から常に受け続けていることが分かる。

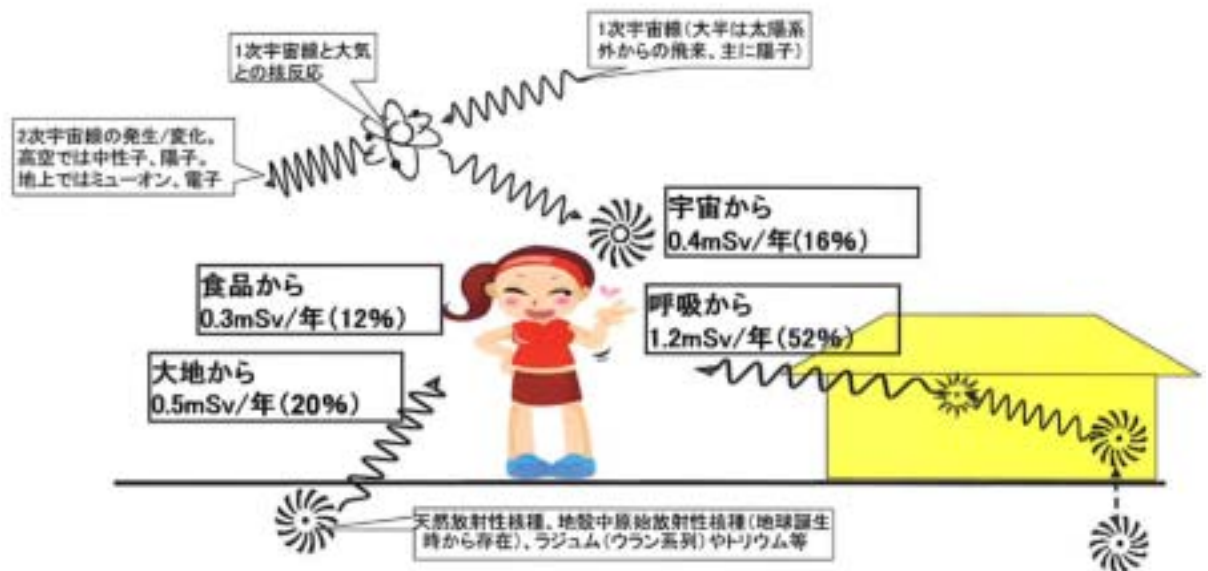


図1 自然放射線の源泉、伝播経路及び被ばく線量
< 単位の解説 : mSv(ミリシーベルト) = 1,000 μ Sv(マイクロシーベルト) >

3. 日本列島と断層

日本列島は誕生時から太平洋プレートやフィリピン海プレートの移動により圧迫を受け続けている。そのプレートの移動速度は図2に示したように、10.5cm/年と4cm/年に達する。そのため日本列島は基礎岩盤に構造上の断層が多く存在している。構造上の断層の大きなものは、図2の中央構造線断層帯、糸魚川-静岡構造線断層帯がある。これら構造線断層帯はこの構造線断層帯を境目にして、基礎岩盤がさらに移動するために構造線断層帯を境目にして、基礎岩盤の地質が異なってくる。

これら断層帯があると図1で説明した地球誕生時から地球内に存在したウランU系列やトリウムTh系列のラジウムRaや壊変系列(図3b参照)の気体放射性同位元素・ラドンRnが図3aに示したように、断層に沿って地表へ出現してくる。したがって、断層帯のBGは他の地表部分と比較して大きな値を取る。



図 2a 日本列島周辺のプレートとその移動 (平面図) <4>

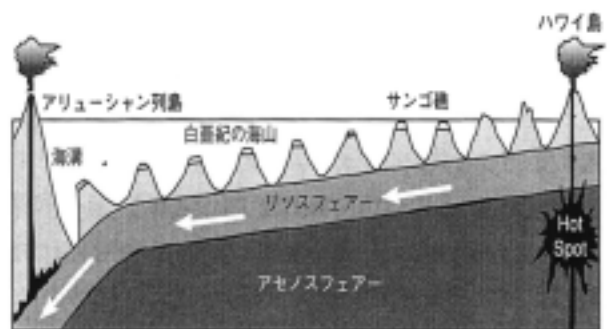


図 2b 同左 (側面図) <5>

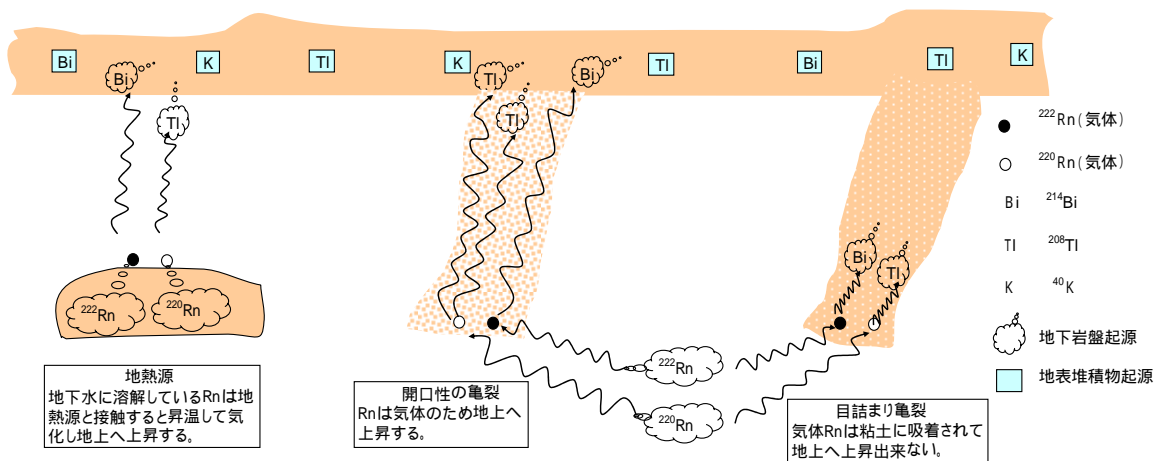


図 3a 断層部から地球内ラドン Rn が地表へ出現する原理図

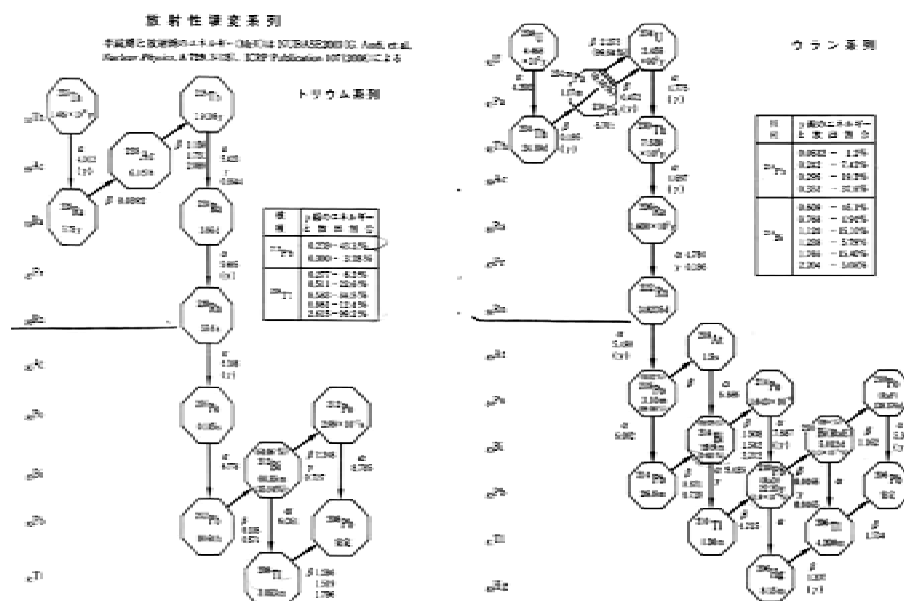


図 3b ラドン Rn を含む放射性改変系列の説明<6>

日本地質学会が日本列島の地質を調査するために、日本列島を10km四方毎に区切り土砂の標本を採取して化学分析結果を公開している。更に、日本地質学会が化学分析結果から日本列島のBG線量率を大地に含まれている自然放射能のカリウムK、ウランU、トリウムThの濃度から地上1m高さの放射線線量率（対象のガンマ線ではnGy/h=nSv/h）を計算されているので図4（比較のために、発表者が日本列島構造上の断層を追記）に引用させて頂いた^{<7>}。この日本列島のBG線量率分布図と構造線断層帯の位置は良い一致を示している。この計算実施要領の詳細は後程表3で解説する。

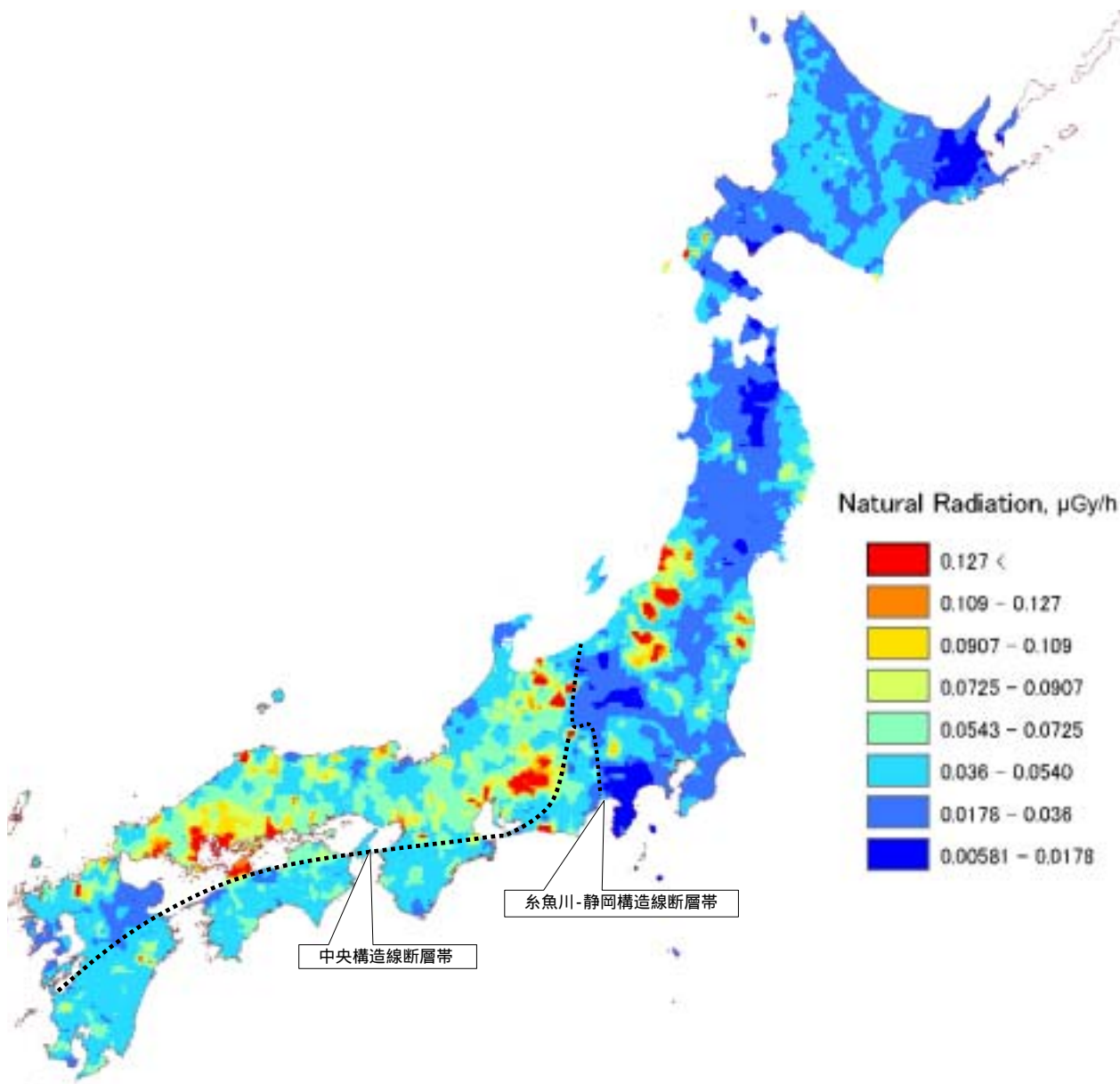


図4 日本列島のBG線量率分布（日本地質学会の地質分布からの線量、2006）^{<7>}

4. ガンマ線探査による断層調査とBG測定方法

ガンマ線探査による断層調査はガンマ線(総量)測定とガンマ線スペクトル測定に大別される。この測定方法を各々例をあげて説明する。一方、文部科学省が原発事故による放射能汚染を確認するために日本全域のBG測定した方法は、ガンマ線(総量)測定と殆んど同一であり、データを使用させて頂いたので、このBG測定方法についても説明する。

4.1 ガンマ線(総量)測定による断層調査

ガンマ線(総量)測定による断層調査の実施例を図5に示した。同図右上の写真の放射線測定器を使用して、同図左の図面のA、B、C方向に10m間隔で線量率を実測し、その結果を同図右下のグラフ（断層位置は発表者が追記）に示した。同図グラフの極大値と断層位置はほぼ一致した。

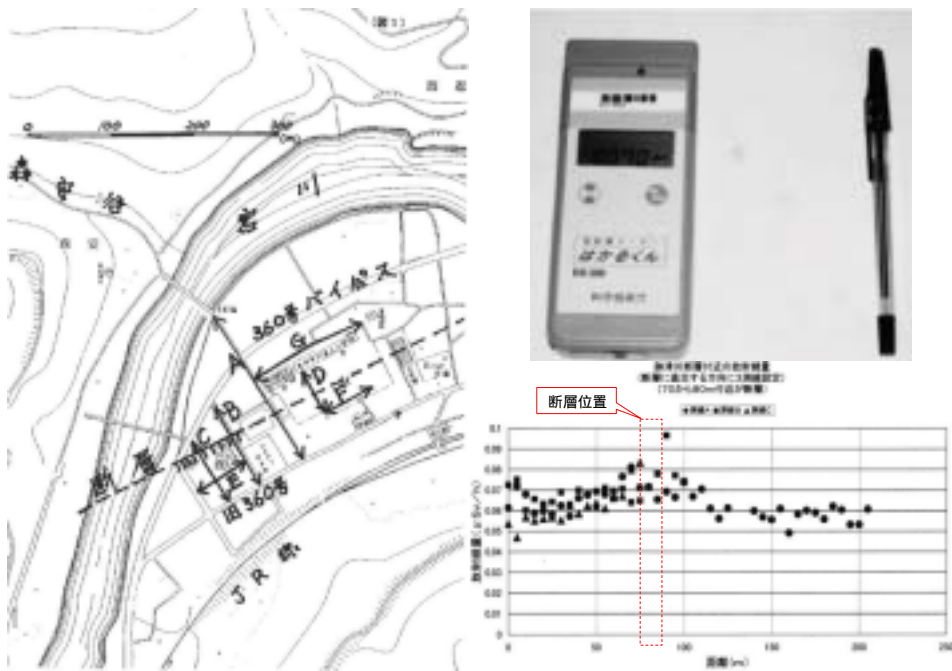


図5 ガンマ線(総量)測定法による断層調査の実施例⁹ (測定間隔:10m)

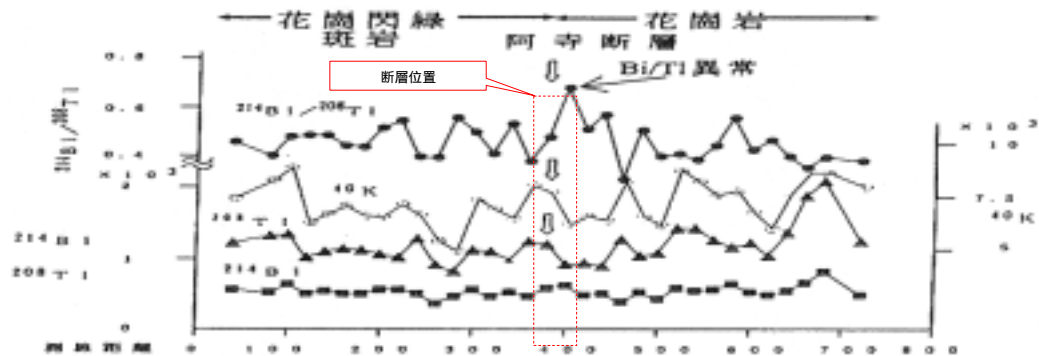
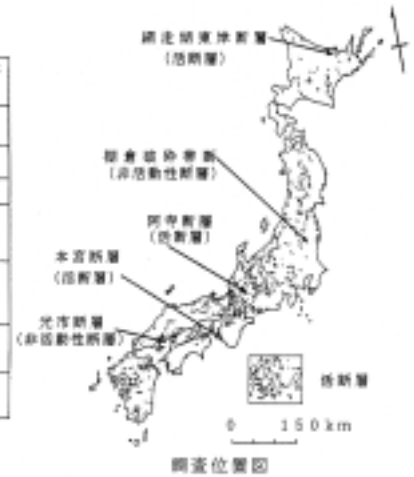
4.2 ガンマ線スペクトル測定による断層調査

農研機構が実施したガンマ線スペクトル測定による断層調査の実施例を図6に示した。同図右上の図面の断層について調査を行い、同図左上の表の結果を得た。同表の代表的な断層について、結果を同図下のグラフ(断層位置は発表者が追記)に示した。Bi/Tiの異常値を示した位置と断層位置はほぼ一致した。ガンマ線スペクトル測定は測定時間が長く掛り効率的でなく、この測定間隔は20mであった。

断層付近の環境ガンマ線スペクトルの変動パターン

断層名	地質	Bi	Ti	Bi/Ti	異常値	ラドン濃度異常	Bi/Ti異常値とラドン濃度異常地点の距離
阿寺断層	花崗閃緑岩	U	U	U	○	○	80m
網走断層	火山岩類	U	U	U	○	○	150m
本宮断層	花崗閃緑岩	U	U	U	○	○	10m
阿寺断層	花崗閃緑岩	U	U	U	○	○	30m
阿寺断層	花崗閃緑岩	U	U	U	○	○	40m
阿寺断層	花崗閃緑岩	U	U	U	○	○	0m

□: 増大 U: 縮小 /: 減少 ×: 検出されず ○: 有り
数字は公表された断層位置からの距離を示す。



阿寺断層を横切る側線の測定例

図6 ガンマ線スペクトル測定による断層調査の実施例⁹ (測定間隔:20m)

4.3 原発事故後の走行サーベイによる道路上の線量率測定^{<10>}

原発事故後の最新のガンマ線(総量)測定による道路上線量率測定例(KURAMA-)を示す。KURAMA-は乗用車に大型高感度のシンチレーション検出器とGPSを搭載し、線量率出力と位置情報を連続的に収集し、道路上の連続的な空間線量率分布図を作成するシステムである。東日本の原発事故の影響を受けている東日本の測定例を図7に示した。同図は道路上の線量率を測定しているために、線上に測定結果を表示している。この測定間隔は連続であった。

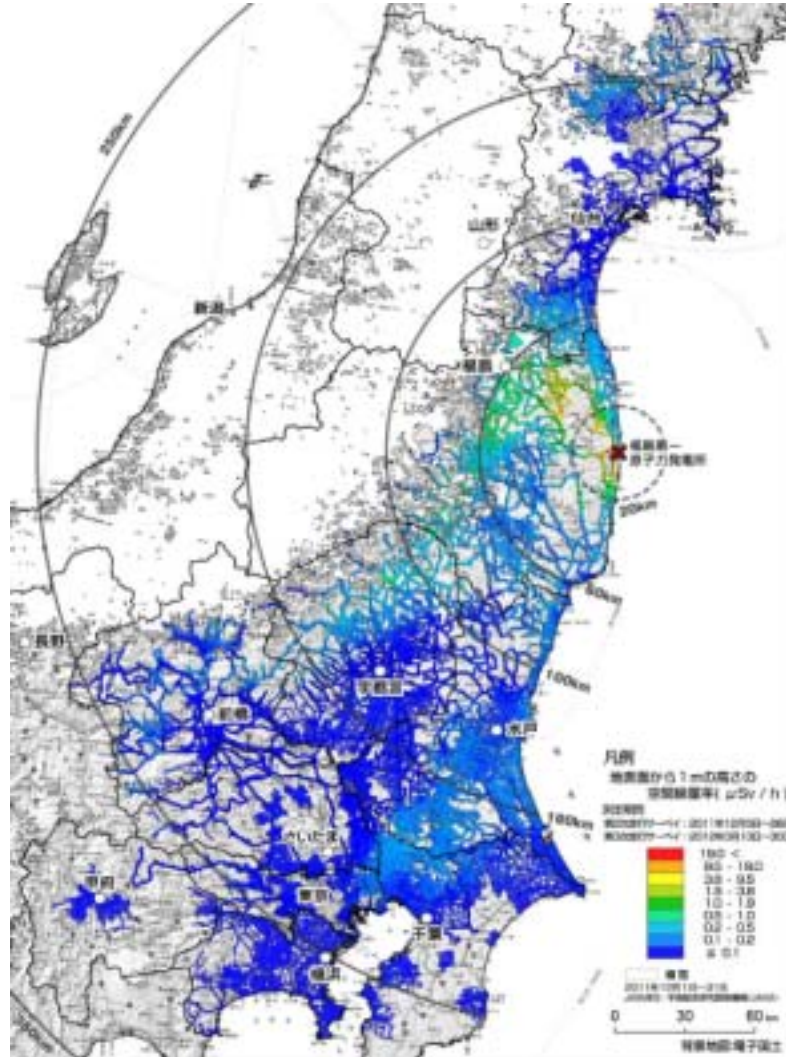


図7 原発事故後の走行サーベイによる道路上の線量率測定例^{<10>} (測定間隔:連続)

4.4 原発事故後の航空機モニタリングの線量率測定^{<11>}

文部科学省航空機モニタリングがガンマ線(総量)測定法であるために、同法による分析を実施した。文部科学省による航空機モニタリングの仕様概要を表1に示した。

今回の我々の分析は放射能汚染がないか無視しうるほど少ないと確認されている西日本について実施した。

表1 文部科学省による航空機モニタリングの主な仕様^{<11>}

測定高さ / 1回の測定範囲	約 300m / 約 600mの平均値
モニタリング高さ / 航空機の軌跡幅	1m / 約 5 km
測定時期	2011・H24年(東日本大震災・原発事故の約1年後)
測定器と測定方法	NaI シンチレーションサーベイメータで地表面から 1m 高さの空間線量率 ($\mu\text{Sv/h}$) とテストライン上空で測定された計数率 (cps) の関係を求めた上で、各測定地点の上空で測定した計数率から地上 1m 高さの空間線量率を算出。

5. 航空機モニタリング結果と断層位置

航空機モニタリング結果と断層位置の関連評価は、1回の測定範囲が約 600mの平均値をとるので、断層個別の評価をするのは無理と考えられ、今回の断層群の評価は日本列島構造上の断層群を主な対象とした。

各地域の航空機モニタリングの結果（発表者が複数枚を1枚に編集、構造上の断層を追記）、地形・活断層図及び結果の評価を表3に示した。

表2 航空機モニタリングの結果と断層位置の関連

地域	航空機モニタリング結果<11>	同左線量換算日	地形・活断層図<12>	結果の評価
中部	図 8a	2012.11.1	図 8b	中央構造線断層帯はほぼ一致。北アルプス、中央アルプス、南アルプスの山群の形とほぼ一致。（図4地質学会データとほぼ一致。） 航空機モニタリング結果の ¹³⁷ Cs及び ¹³⁴ Csの沈着量から汚染がない範囲を対象にした。
近畿	図 9a	2012.4.25	図 9b	中央構造線断層帯はほぼ一致。紀伊半島中央部（熊野）は不一致。
中国		2012.4.25		中央構造線断層帯はほぼ一致。
四国		2012.4.28		（図4地質学会データとほぼ一致。）
九州	図 10a	2012.3.22	図 10b	中央構造線断層帯はほぼ一致。

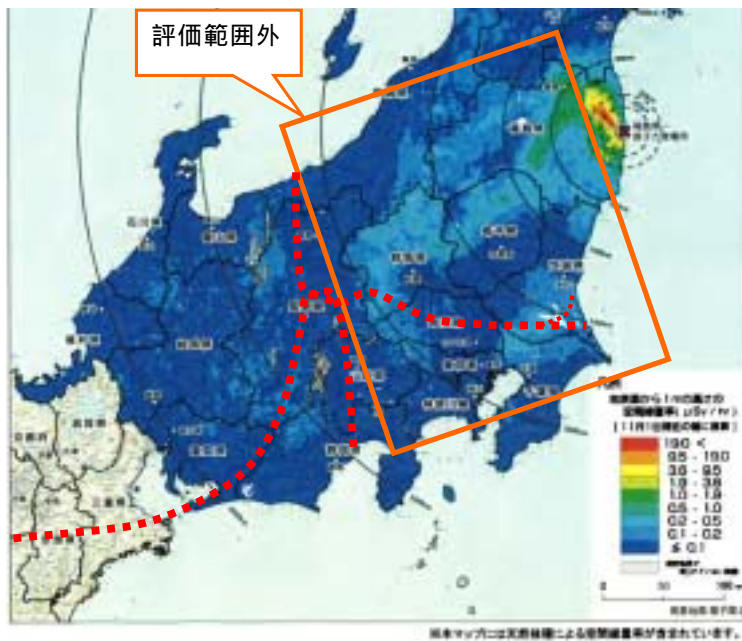
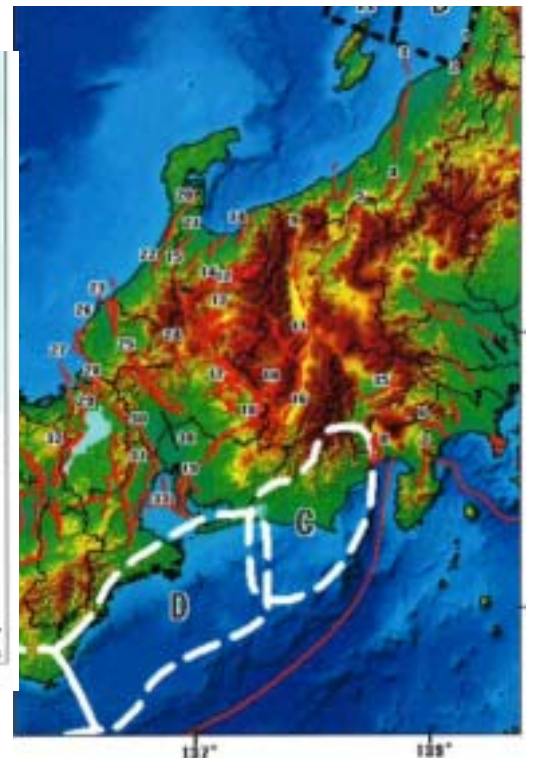


図 8a 中部の航空機モニタリング結果(2012)



A: 佐渡島北方沖 B: 新潟県北部沖
C: 想定東海地震 D: 東南海地震
p://www.jishin.go.jp/main/yosokuchizu/chubu/chubu.htm

図 8b 同左の地形・活断層図

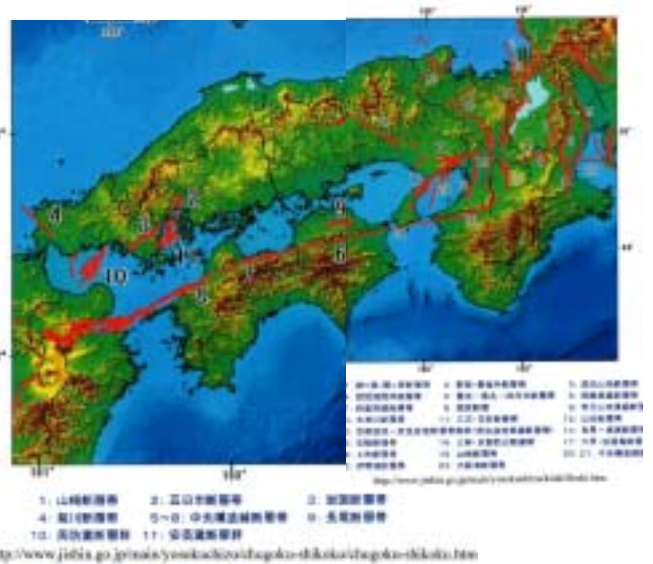
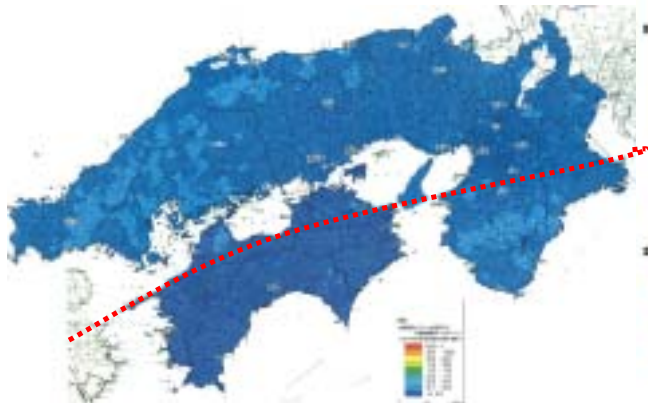


図 9a 近畿、中国、四国の航空機モニタリング結果(2012) 図 9b 同左の地形・活断層図

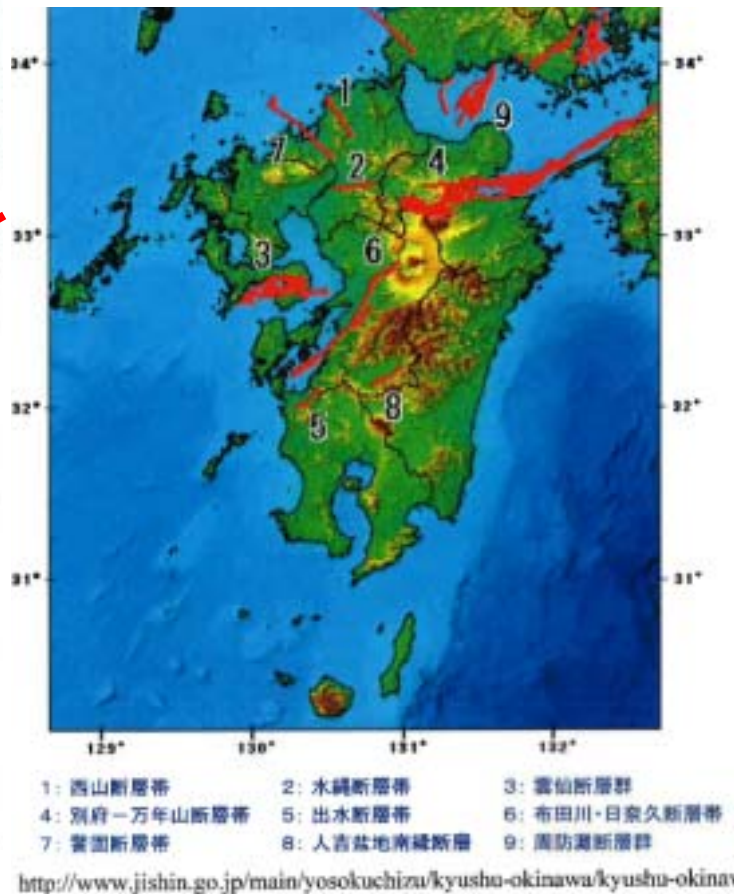
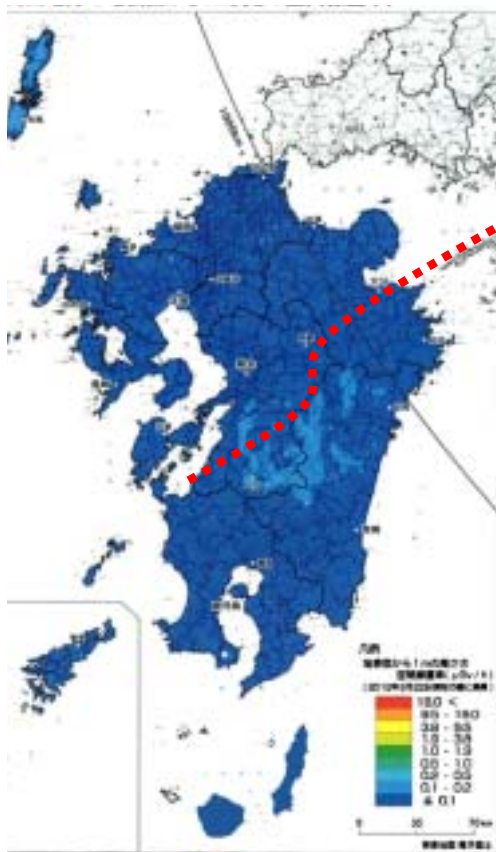


図 10a 九州の航空機モニタリング結果(2012) 図 10b 同左の地形・活断層図

6. 地質分布からの線量と航空機モニタリングの比較

地質分布からの線量と航空機モニタリング測定条件の比較を表 3 及び図 11 で行った。測定時期は地質分布が東日本大震災前（実測せずに計算値）、航空機モニタリングは東日本大震災後であった。各々の実施目的が異なるために、平面的な測定密度（平面分解能）や線量率レベル（濃度分解能、図 11）が大きく異なる。特に、線量率レベルが航空機モニタリングでは放射能汚染した高線量率レベルまで適用するために、この目的に使用するためには荒く感じられる。

次に、測定結果を西日本について図 12 で直接比較した。地質分布からの線量と航空機モニタリングの結果から、この両者の差は大きく考えると東日本大震災前後の比較となる。東日本大震災本震

(2011.03.11 M9.0)に伴う地殻変動(水平、暫定版)^{<13>}で東日本の地殻が図13のように一時大きく移動して又ほぼ元へ戻った。西日本もこれから、地殻変動の影響を受けて断層が動きBGが増加したとも考えられる。

表3 地質分布からの線量と航空機モニタリング測定条件の比較

比較項目	地質分布からの評価	航空機モニタリング
測定者・時期	日本地質学会・2006	文部科学省・2012 (東日本大震災後約1年)
測定密度(平面分解能)	10,000m×10,000mから1点の代表値	約600mの平均値
線量率レベル(濃度分解能)	BGを対象で詳細	原発事故汚染を対象でBGには荒い
測定方法概要	採取試料を化学分析し、K(係数13.0)、U(係数5.4)、Th(係数2.7)量から線量率を計算	地表高さ約300mの航空機から連続測定
宇宙線の寄与(約0.03767 μSv/h)	含まない	含む
線量率評価高さ	地上1m	地上1m
大都市市街地の測定	避けて、周辺地域から外挿	実測

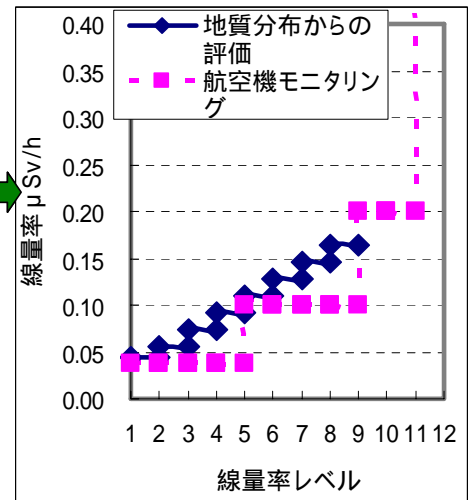


図11 線量率レベルの比較

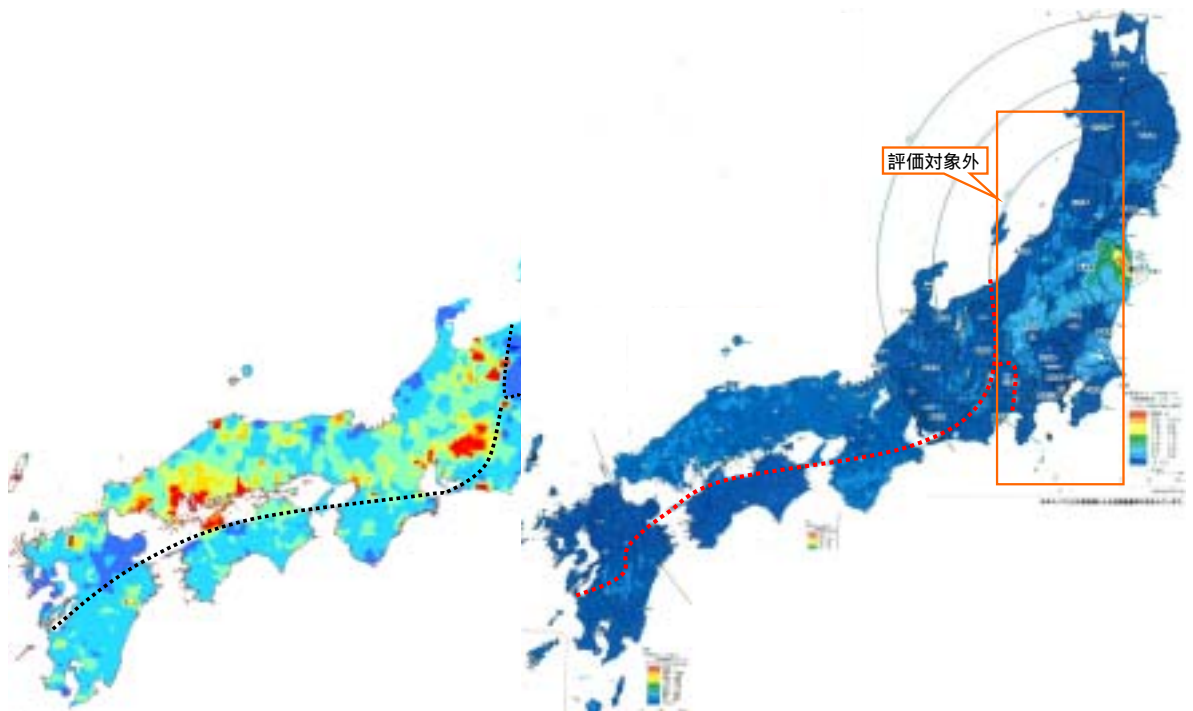


図12 地質分布からの線量(左)と航空機モニタリング(右)の比較図

7. まとめ

- (1) 図4の日本列島のBG線量率分布(日本地質学会の地質分布からの計算値)と構造断層帯は良い一致を示している。岩盤に乗って、地層が移動して構造断層帯で異なった岩盤が接していることが分かる。
- (2) 航空機モニタリング結果は表2の結果の評価で示した通り、構造断層帯と大体一致する。しかし、中央構造断層帯の南側(琉球海溝側で、フィリピン海プレートから常に圧縮を受けている側)の九州の高千穂や近畿の熊野地区でBGがやや大きな値を示している。同地域では、図12の日本地質学会のBG線量率分布(2006)では少し出ているが、東日本大震災以降の航空機モニタリング結果(2012)では値が大きくなっている。東日本大震災本震(2011.03)で図13のように地殻変動があったことや、東日本大震災



図13 本震の地殻変動

以降に 2011 年 3 月九州南部の新燃岳の噴火、2011 年 8 月近畿地方の紀伊半島南部で台風第 12 号紀伊半島豪雨による超大規模な山崩れ、等不気味な兆候が続いている。この兆候が南海大地震の予兆でないことを祈りたい。

- (3) 測定分解能（分解能は最小測定単位以上）からシミュレーション結果をまとめる。
- a. 平面分解能：今回の濃度分解能と勘案して数 km 程度と考えられ、このデータからでは通常の断層は発見できない。
 - b. 線量率レベル（濃度分解能）：航空機モニタリング結果は線量測定範囲が BG 線量率を評価するためには大きく、BG 線量率レベルでは大きな線量率変動しか確認できない。
 - c. シミュレーション結果：平面分解能（測定間隔・密度を 10m 単位から 1m 単位へ小さく）及び線量率レベル（濃度分解能）を適切に小さくすると、通常の断層も発見できる。

参考文献

<1>ウィキペディア：原子核融合、

<http://ja.wikipedia.org/wiki/%E5%8E%9F%E5%AD%90%E6%A0%B8%E8%9E%8D%E5%90%88>、(2012)

<2>ウィキペディア：オク口の天然原子炉、

<http://ja.wikipedia.org/wiki/%E3%82%AA%E3%82%AF%E3%83%AD%E3%81%AE%E5%A4%A9%E7%84%B6%E5%8E%9F%E5%AD%90%E7%82%89>、(2012)

<3>財団法人電子科学研究所：第 2 種放射線取扱主任者講習テキスト(6)、(2011)

<4>AAPG Plate-Tectonic Map, :

http://www.cm.nitech.ac.jp/cho/earth_science/Lesson-13.pdf#search=%E6%97%A5%E6%9C%AC%E5%88%97%E5%B3%B6%E5%91%A8%E8%BE%BA%E3%81%AE%E3%83%97%E3%83%AC%E3%83%BC%E3%83%88%E3%81%A8%E3%81%9D%E3%81%AE%E7%A7%BB%E5%8B%95、(1981)

<5>Skinner&Porter、

http://www.cm.nitech.ac.jp/cho/earth_science/Lesson-13.pdf#search=%E6%97%A5%E6%9C%AC%E5%88%97%E5%B3%B6%E5%91%A8%E8%BE%BA%E3%81%AE%E3%83%97%E3%83%AC%E3%83%BC%E3%83%88%E3%81%A8%E3%81%9D%E3%81%AE%E7%A7%BB%E5%8B%95、(1987)

<6>日本アイソトープ協会：アイソトープ手帳 11 版、(2011)

<7>日本地質学会：日本の自然放射線量：<http://www.geosociety.jp/hazard/content0058.html>、(2013)

<8> 9 自然放射線の測定：

<http://gakuen.gifu-net.ed.jp/~contents/club/rs-shidou/9.pdf#search=%E9%87%AA%E7%84%B6%E6%94%BE%E5%B0%84%E7%B7%9A%E3%81%AE%E6%B8%AC%E5%AE%9A>、(2012)

<9>農研機構：断層付近の環境ガンマ線スペクトルの空間分布特性：

<http://www.naro.affrc.go.jp/project/results/laboratory/nkk/1998/nkk98-08.html>、(2012)

<10>文部科学省：走行サーベイによる連続的な空間線量率の測定結果（平成 24 年 3 月時点）について、http://radioactivity.mext.go.jp/ja/contents/7000/6211/24/211_0912.pdf#search=%E9%81%93%E8%B7%AF%E4%B8%8A%E7%B7%9A%E9%87%8F%E7%8E%87%E6%B8%AC%E5%AE%9A+KURAMA%E2%85%A1、(2012)

<11>文部科学省：文部科学省（米国エネルギー省との共同を含む）による航空機モニタリング結果、

<http://radioactivity.mext.go.jp/ja/list/258/list-1.html>、(2012)

<12>文部科学省地震調査研究推進本部：地震動予測地図ウェブサイト全国版、

<http://www.jishin.go.jp/main/index.html>、(2012)

<13>国土地理院：本震(M9.0)に伴う地殻変動：

<https://192.168.101.105:9091/servlet/com.trend.iwss.user.servlet.sendFile?downloadfile=IRES-1228923544-E8035430-16638-16608-25>、(2012)