

第18章 日本海域の環境放射能測定とCOEプロジェクトでの取り組み

メタデータ	言語: jpn 出版者: 公開日: 2017-10-05 キーワード (Ja): キーワード (En): 作成者: メールアドレス: 所属:
URL	http://hdl.handle.net/2297/2489

第 18 章

日本海域の環境放射能 測定法と COE プロジェクトでの取り組み

金沢大学自然計測応用研究センター

小村 和久

e-mail: komurak@po.incl.ne.jp

1. 放射能と放射線

X 線の発見 (1895 年) に続く放射能の発見 (1986 年) は 19 世紀最大の発見であり, 20 世紀の科学をリードしたという。これを契機に, 我々は桁違いに高いエネルギーが支配している原子核や素粒子の世界の存在を知り, 宇宙で起こるさまざまな現象を解明する鍵を手にすることができたのである。

放射能は, 不安定な原子核 (放射性核種) が「放射線」を放出して安定な状態に移行する自然現象である。濃度が低くて検出できないものも多いことを除けば, ほとんどすべての物には放射性物質が含まれている (放射能がある) と言って過言ではない。

ここで「放射能」という言葉をつかったが, 厳密には「放射能」と「放射線」とは区別して使卵必要がある。「電球と光」の関係, 電球 (放射能に対応) には光 (放射線) を出す能力がある, ことで例えることが多い。

原子炉の周辺や, ウラン鉱山, あるいは汚染された特殊な場所や物にしか放射能が存在しないと一般に思われている, しかし, 感度の高い検出器を使えば, 人体を含むすべての動植物, 空気, 水, 岩石, 土壌など放射性核種が含まれて (放射能をもって) いることがわかる。

放射性核種はそれぞれ固有の半減期を持って安定な核種へと壊変 (崩壊) する。ウラン (U-238), トリウム (Th-232), カリウム (K-40) など 10 億年以上の半減期をもつものは宇宙 (太陽系) の創成以来残存している「自然放射性核種」である。ウランやトリウムからは半減期の短い「二次自然放射性核種」が絶えず生成している。

二次自然放射性核種にはキュリー夫妻が発見したラジウム (Ra-226 半減期 1600 年) や大気中に存在する放射性気体のラドン (Rn-222, 半減期 3.8 日) 等がある。考古学試料の年代測定に用いられている放射性炭素 (C-14, 半減期 5730 年) は宇宙線の二次成分である中性子と大気の主要成分である窒素との反

応で絶えず生成している「宇宙線誘導核種」である。この他放射性セシウム (Cs-137, 半減期 30 年) やプルトニウム (Pu-239, 半減期 24100 年) などの「人工放射性核種」がある。核実験や原子炉事故等によって環境に放出されたものが環境中に広く分布している。これらの放射能を「環境放射能」と呼んでいる。

環境試料中の放射性核種には容易に検出できるものから通常の測定では検出できないものまで濃度範囲は極めて広い。放射能測定は最も感度が高い分析法の一つであり, 環境中に存在する放射性核種をトレーサー (追跡子) として用いた地球科学的研究が古くから行われている。

21 世紀 COE プロジェクトでは, 環境中に存在する放射性核種をトレーサーとして利用して環日本海域の環境変動を解析する。測定には旧尾小屋鉱山のトンネル内に設置した世界トップクラスの極低バックグラウンド放射線検出装置を使い, 従来より 1 桁高い時間分解能で環境放射能の変動を測定し, 新たな知見を得ることを目標においている。

2. 極微量の放射能を測定するために

野球ボールくらいの大きさの空間には毎分約 1 万個の γ 線が飛び交っている。ニュートリノにいたっては 1 平方センチあたり毎秒 600 億個以上も通過しているが検出することは困難である。これらの環境放射線は放射能を測定する際の雑音 (バックグラウンド計数) として寄与するので, 低い放射能を測定する場合には可能な限りとり除く必要がある。

放射線検出器のバックグラウンド下げるには通常厚さ 10~15cm の鉛や鉄で検出器を囲んで遮蔽する方法がある。 γ 線計測の場合にはこの遮蔽により約バックグラウンド計数を約 2 桁低減することが可能である。大きさ直径 7.6cm 長さ 7.6cm の NaI 検出器の場合は, 鉛あるいは鉄でバックグラウンド計数を毎分 100 個程度まで下げられるがその半分は透過

力の強い宇宙線（ミュオン）で、残りは検出器構成材と遮蔽材中の放射性不純物に由来する。

鉛や鉄で防ぎきれないミュオンの寄与を下げる方法として最も有効な方法は地下に測定器を設置して厚い岩石層で遮ることである。ノーベル賞で脚光を浴びたニュートリノ研究で知られるようになった（スーパー）カミオカンデは地下 1000m（水深換算 2700m）に設置されており、ミュオン強度は地表の数万分の 1 になっている。環境試料の放射能測定の場合、試料交換や検出器冷却用の液体窒素の補充を頻繁にする必要があり、遠隔地にある大深度地下測定よりも適度の深度をもちアクセスが容易な近くでの測定室の方が有効である。

々が建設した地下測定室は研究室から約 20km の距離にある旧尾小屋銅鉱山の水深換算 270m のトンネル内にある（図 1）。ここは 1991 年に建設を開始し、ゲルマニウム半導検出器による測定を開始したのは 1995 年である。ここに設置した検出器のバックグラウンド計数を他の研究室の測定装置と比べて図 2 に示す。図から分かるように、バックグラウンド計数は他の機関の同規模の検出器より 2 桁低く、世界トップクラスである。これは検出器の構成材料を厳選したことに加え、金沢城内の建屋解体時に廃棄された極めて放射能の低い古い鉛を遮蔽に使ったことによる。2003 年 9 月現在、尾小屋地下測定室には 5 台の井戸型 Ge 検出器、4 台の平板型 Ge と 1 台の同軸型 Ge 検出器が稼動している。1 研究室が所有する検出器の台数で世界一の規模である。

地下測定室の使用により従来の検出器より 1~2 桁高い検出感度を得ることができた。例えば、これまで 100 リットルの海水が必要だった Cs-137 の測定を数リットルの海水で検出定量することが可能になった。また 10m³ の空気をろ過するだけで Pb-210 や Be-7（半減期 53 日の宇宙線生成核種）を定量でき、従来より 1 桁以上高い時間分解能で大気中の放射性核種の変動を解析できる。

3. 環境放射能の観点からみた日本海域の特長

先に述べたように、大気、水、岩石・土壌、生物などすべてのものに多かれ少なかれ放射性核種が含まれている。図 3 に環境放射能からみた日本海域の特長や対象となる放射性核種を示す。

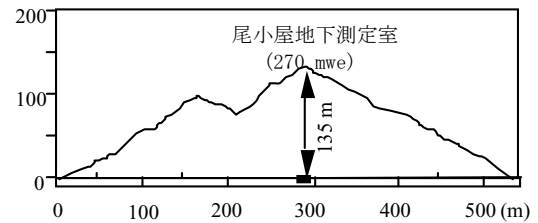


図 1 尾小屋地下トンネルの断面図
測定室は水深270m相当の地下に設置してある。

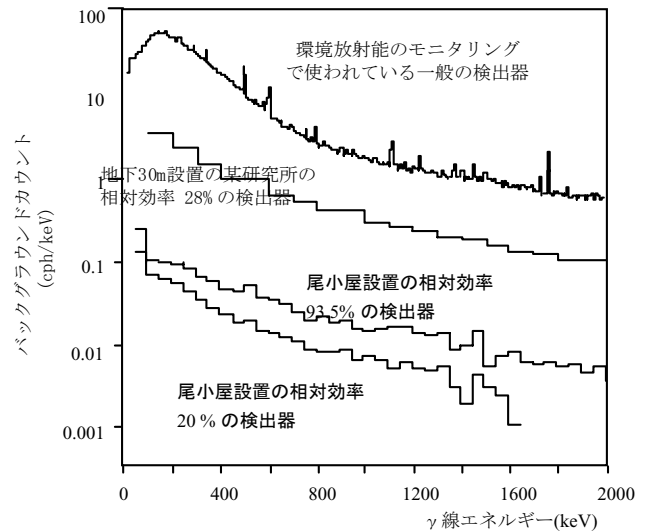


図 2 環境放射能測定に使われているγ線検出器のバックグラウンド計数の比較
尾小屋の検出器のバックグラウンドは 地上設置の検出器より 2 桁低い

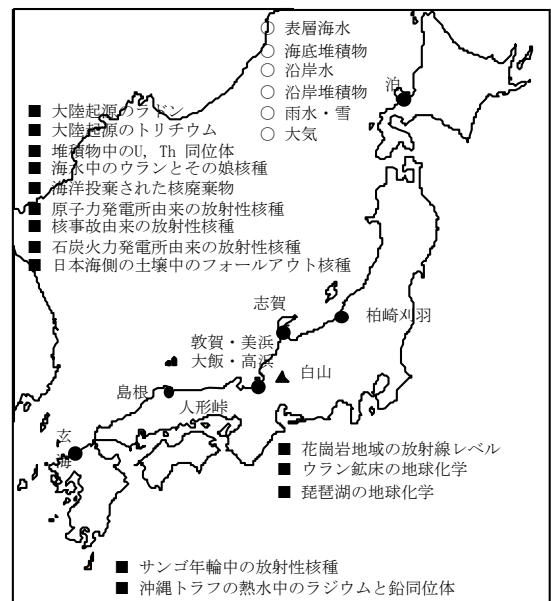


図 3 環境放射能から見た日本海と沿岸域の特長

まず、原子力発電所について見てみよう。日本海に面しているのは佐賀（玄海），島根，福井（高浜，大飯，美浜，敦賀），石川（志賀），新潟（柏崎・刈羽）に加え，韓国の原子力発電所などが設置されており，環日本海域は世界的に最も密度の高い地域である。加えて，旧ソ連の廃棄原子力戦艦や放射性廃棄物の海中投棄の問題も懸念されている。これらの影響は検出されていないが，超高感度放射線検出器による環境放射能のモニタリングが果たす役割は極めて大きいといえる。

空気を介しての放射性核種の輸送という観点からは冬季の北西風や春の黄砂など，大陸から日本海上空を經由しての輸送がある。夏季や台風に伴う太平洋側からの大気団による輸送，風による陸起源物質舞い上がり成分の近距離輸送や降雨による地表落下のなど様々な起源のものが複雑に重なっている。

図4に，水田土壤中に蓄積しているフォールアウト核種のプルトニウム同位体 Pu-239+240 および Am-241 の測定結果を示す。冬季の降水量の高い日本海域の蓄積量が太平洋側の約2倍になっている。なかでも北陸地域が特に高いことが分かる。放射性フォールアウトのみならず， Pb-210 のような天然のフォールアウト核種の降下量も北陸域がとくに高いことが知られている。

岩石，土壤に含まれるウラン，トリウム，カリウムなどの放射性元素の含有量は地質によって異なる。石川県内では，花崗岩が露出している羽咋市長手島付近で放射線レベルが特異的に高い。加賀と能登を比較すると概して能登地域の放射線レベルが低い。

日本海側のラドン濃度の季節変動は太平洋側とは正反対，すなわち冬季に低く，夏季に高くなる特異な季節変動をすることが知られている。このような地域は世界的にも少なく，冬季に降水量が覆いことがその原因と考えられている。

日本海の堆積物，海水など，地球化学的観点から放射能測定による研究対象は多い。

4. 放射能関連の COE Project 研究

4.1 放射能観測拠点

JCO プロジェクトでは大気中に存在する放射性核種を従来より1桁高い時間解像度で観測する計画である。

日本海域の環境放射能変動を観測する拠点の設定は研究推進に極めて重要である。本研究では辰口（研究所所在地）に加え，舩倉島および獅子吼高原を新たに観測地点として設定した（図5）。

輪島市沖 50km に位置する舩倉島は，面積 1km^2

の常駐人口約 80 人の小島で，300KW 発電所と漁船を以外の大気汚染源がない。風向き次第で日本海を隔てた大陸または本土の影響を乱されることなく観測できる可能性のある貴重な観測点と考えている。一方加賀平野の東に位置し手取扇状地の要となっている鶴来町にある海拔 640m 獅子吼高原は，ロープウェイで容易に頂上までいけるアクセスの容易さから観測拠点として極めて適した場所と考えている。

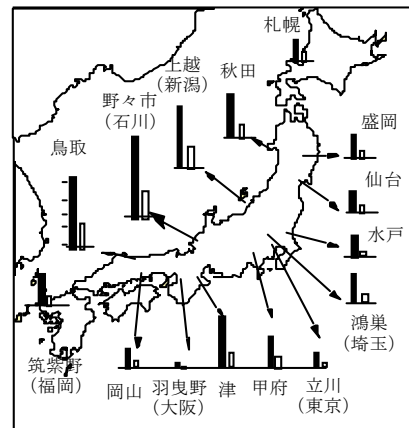


図4 日本各地の水田土壤中のプルトニウム (Pu-239+240 黒) とアメリシウム (Am-241 白) の蓄積量

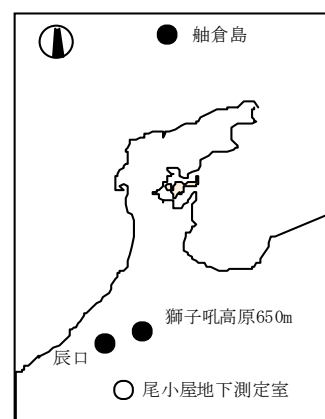


図5 COE観測拠点と尾小屋地下測定室

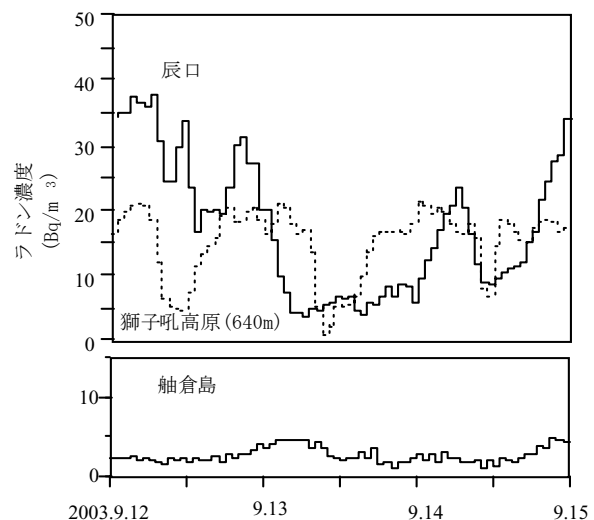


図8 台風接近時の辰口，獅子吼，舩倉島のラドン濃度の変化

気象条件によっては大気中の放射性核種の鉛直構造を乱れの少ない状態で研究することが可能である。辰口、舳倉島、獅子吼での同時観測、同時サンプリングから大気中の放射性核種や公害物質等の変動解析で多くの知見をたいと考えている。なお、これら3観測拠点については石川県保健環境センター、能登航路標識事務所舳倉島灯台、スカイ獅子吼、石川県フライヤーズ連盟の協力による風向と風速データを入手することができる。

以下、現在行っている観測とサンプリングについて紹介する。

4.2 ラドン (Rn-222) 観測

大気中のラドンは土壌中に存在する Ra-226 の壊変にて生成したものが地表から散逸したものである。ラドンの散逸率はほぼ 1cm^2 当り毎秒 1 原子とされている。これは平均的な値であり、岩石・土壌の組成、地中水分、気圧、気温等の影響があり、さらにラドン濃度が低い上層の大気との混合・希釈があるので日変動、季節変動がある。気象が安定した晴天時には夜明後に濃度が最も高くなり、太陽が登り大気が混合するにつれ濃度が下がり、昼過ぎに最低値となり翌日の夜明けに向けて次第に高くなる変化をする。季節的には地域では夏季に極小となり冬季に極大となる季節変動がほとんどの地域で観測されている。ところが秋田から島根にかけての日本海側のラドンの季節変動は全く逆になっている特異な地域である。

海水中のラジウム濃度が引くので海はラドン源とならないため、沿岸からの距離が離れるにつれラドン濃度は低くなる。舳倉島は風向き次第で海を隔てた大陸起源のラドンとすぐ近くの本土に起源をもつラドンの寄与を弁別して観測できる貴重な観測点である。台風の到来時には大平洋に起源を持つラドン濃度の低い大気団の影響が見られる。

海拔 640m の獅子吼高原はラドンの鉛直分布について貴重情報を提供するに違い無い。

辰口、舳倉島、獅子吼にはそれぞれラドンモニターを設置し 1 時間毎にデータを取得している。

図 6 に台風接近時に 3 地点で得たのラドン濃度の測定例を示す。それぞれの観測地点の特長が良く表われている。

地震の前兆現象として大気中のラドン濃度が増加することが古くから言われており、1995 年 1 月発生のの神戸震災では 3 ヶ月前からラドン濃度の増加があったと報告されている。図 7 に 1996 年 8 月末から 9 月中旬にかけて辰口で観測したラドンが異常に増加した例を示す。近くを震源とするマグニチュード 4.2 の地震発生と関連深いラドンの変化と考えている。

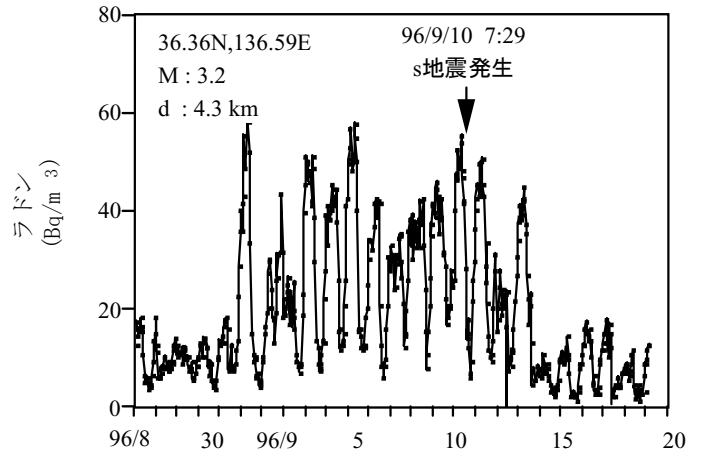


図 1996年9月10日発生の地震の前兆現象と考えられるラドン異常

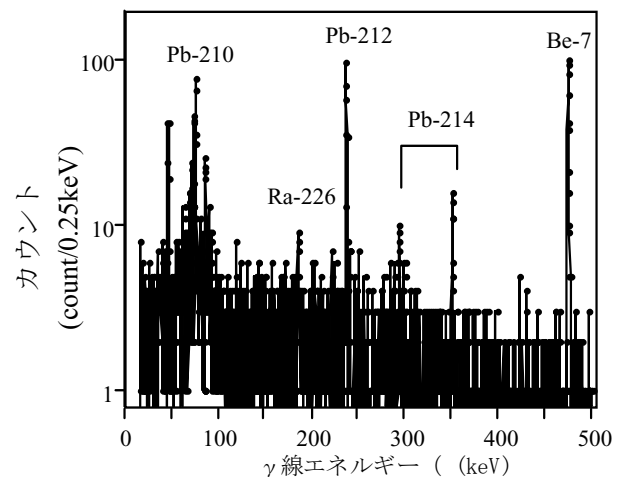


図 6 大気浮遊塵の γ 線スペクトル例 (174m³の大気をろ過し採取2940分後から1530分測定)

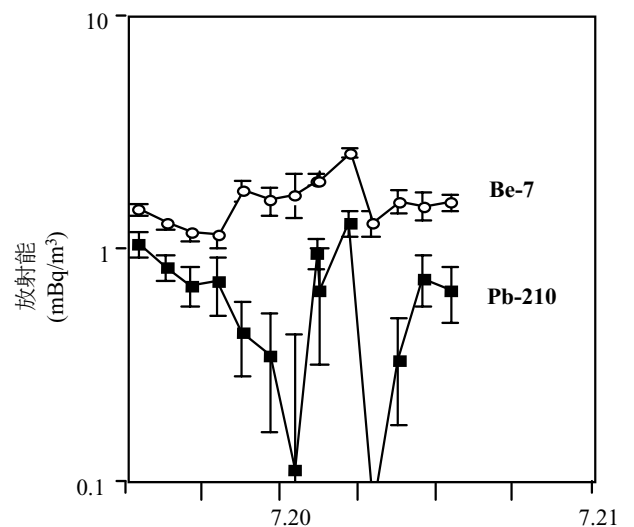


図7 台風通過時の大気中のPb-210とBe-7濃度の変化

4.3 大気中の鉛同位体 (Pb-210, Pb-212), ポロニウム-210, 宇宙線生成核種ベリリウム-7 の高解像度観測

Pb-210 (半減期 22.3 年) 及び Po-210 (半減期 138 日) はラドン-222 の壊変によって生成する娘核種であり, ベリリウム-7 (半減期 53.3 日) は大気上層で宇宙線と酸素および窒素原子核との核反応で生成する宇宙線生成核種である。前者は土壌起源, 後者は大気上層起源の核種であり大気中の鉛直および水平方向の混合を知るトレーサーとして使うことが可能と考えており, 移行について数日から数ヶ月スケールの時間情報が得られる可能性がある。またトリウム系列の半減期 55 秒のラドン-220 の娘核種である半減期 10.6 時間の鉛-212 からは数時間から数日スケールの時間情報を得ることができると考える。

これらの放射性核種はハイボリュウムサンプラーを使い石英フィルター上に毎分 700 リットルの空気のろ過する方法で採取する。大気浮遊塵の Pb-210, Bi-210, Po-210 の放射能比からは浮遊塵の滞留時間を求める。辰口, 舳倉島および獅子吼では基本情報としてラドン観測を行うと共に, 大気浮遊塵のサンプリングを 1 日から数日間隔で定期的に行っている。大気が安定している平時の典型的な変動, 温暖・寒冷前線通過時, 台風の接近時など, 急激な気象変動がある場合には数時間単位のサンプリングを適宜実施し, これらの変動と気象要因の関係を解析する。

放射能測定は尾小屋地下測定室の極低バックグラウンド線検出器で行う。台風来襲時に採取した大気浮遊塵試料で 3 つの鉛同位体 (Pb-210, Pb-212, Pb-214) と Be-7 が検出されていることを示すガンマ線スペクトルの測定例を図 8 に, Pb-210 および Be-7 の短時間変動の測定例を図 8 に示す。

Rn-222, Pb-210, Po-210, Pb-212, Be-7 を高解像度で同時観測した例はこれまでにない。なお Po-210 は化学分離し α 線計測により測定する。

採取した大気浮遊塵試料では放射性核種の他に安定元素および公害物質についても測定し, 風速・風向, 降雨等の気象条件を考慮して解析する。

4.4 沿岸海水, 陸水のラジウム同位体

ラジウム同位体には半減期の長い Ra-226, トリウム系列の Ra-228 (半減期 5.75 年) と Ra-224 (半減期 3.66 日), アクチニウム系列の Ra-223 (半減期 11.4 日) が自然界に存在する。これらのうち濃度の低い Ra-223 以外は地球化学研究のトレーサーとして使うことができる。半減期が短い Ra-224 のはほとんど測定例がない。

海水中のラジウムの大部分は河川から海へと供

給されたものである。海水中のラジウムの滞留時間が長く, 半減期の短い Ra-228 の壊変を使えば数 10 年スケールの海水の輸送についての情報を得ることができる。対馬海流によって日本海に流入するラジウム同位体は揚子江や黄河に起源を持つものが多いと考えられるので Ra-228/Ra-226 比の季節変動や, 沿岸からの距離, 深度分布等の測定は大きな意味を持っている。Ra-224 測定は採取後数日から 1 週間以内で化学分離して測定することが必要である。海水では 10 リットル, 陸水では約 100 リットルの試料を使えば γ 線計測で 3 核種を定量することが可能である。

本研究では沿岸海水, 海草および陸水試料中の低濃度のラジウム同位体を測定する。多量の試料からラジウムを分離するには化学的挙動が似ているバリウムを担体として加えてラジウムを収率よく捕集することが必要である。特級の試薬を含めバリウム試薬の多くはラジウムを比較的多く含んでおり, 微量のラジウムを測定するさいの担体としては使えない。胃の透視検査で造影剤として使われるバリウム (硫酸バリウム) にはラジウム含有量が極めて低いものがある (図 8)。

4.5 その他

舳倉島および辰口では大気浮遊塵の他に雨水の採取も定期的に行っており, フォールアウト起源の放射性核種の観測も実施する。これには濃度が極めて低くて金沢大学グループの他に測定例がほとんどない宇宙線生成核種 Na-22 および通常の検出器では不可能な Cs-137 の測定を予定している。さらには気象研究所の五十嵐康人氏を代表として実施している富士山山頂における大気浮遊塵中の Be-7, Pb-210 及び Po-210 の測定も同時に実施しており, 太平洋側の情報もあわせて解析する予定である。