

福島第一原子力発電所事故に伴う 大気・海洋の人工放射能の変動

○青山道夫(地球化学研究部)、五十嵐康人(環境・応用気象研究部)

1. はじめに

気象研究所では、1954年以来、55年以上にわたり大気及び海洋の環境放射能の研究を実施してきた。その研究成果は、100以上の学術論文として公表されるとともに、適宜報告論文集や講演等を通してその成果を広く周知してきている。55年以上にわたり継続的に続けられた環境放射能研究は、1950年代から1960年代にかけて行われた水爆実験や、1986年の旧ソ連のチェルノブイリ原子力発電所事故など、その時代時代の人工放射性核種の放出に伴う大気海洋環境への長期間に及ぶ影響を明らかにしてきた。そして、今新たに、東日本大震災に伴う福島第一原子力発電所事故に伴う大気・海洋の人工放射能の推移を、冷静かつ科学的に記述し理解する、という大きな課題をも担うことが期待されている。本稿では現時点で明らかとなっている事故後の大気・海洋の人工放射能の変動について事故前も含めて報告する。

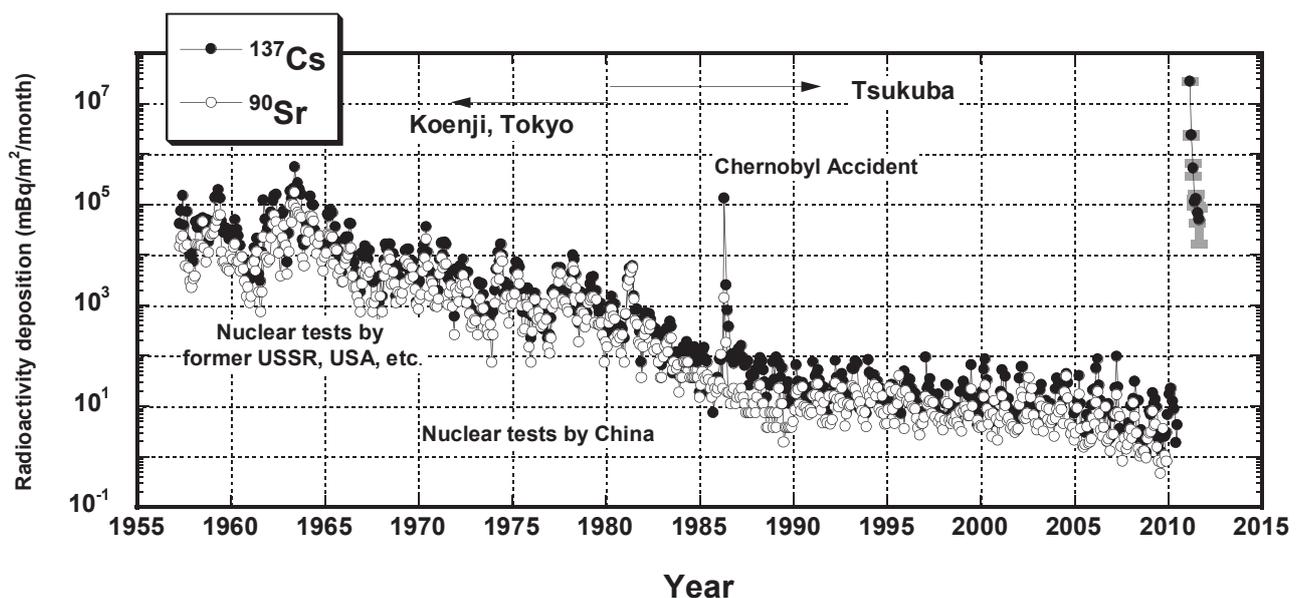
2. 大気・海洋の人工放射能の変動：過去と現在

2. 1. 福島事故以前の人工放射能の変動

我が国における組織的な環境放射能研究は、1954年3月に北太平洋の赤道域にあるビキニ諸島で実施された大規模な大気圏内核実験に始まる。最初の人工放射能を含んだ雨

の報告は、三宅(1954)⁽¹⁾によると1954年5月14日以降のことである。北太平洋のビキニ環礁での核実験に対応して人工放射能を含む降水が日本各地で報告された。最大値は、 0.5×10^6 Ci/L、すなわち $18,500 \text{ Bq L}^{-1}$ と記されている。冷戦の結果として、米・ソを中心として大型の大気圏内核実験が継続された。(第1図に人工放射核種の月間降水量の時系列を示す。)そのため、1963年の6月に人工放射能降水量は、最大値を記録した。1963年6月の人工放射能の月間降水量は、 ^{90}Sr で約 170 Bq m^{-2} 、 ^{137}Cs では約 550 Bq m^{-2} を記録した。⁽²⁾中・仏(仏は南半球主体)は米ソが大気圏核実験を中止したあとも実験を継続した。このため、我が国はその後も中国の核実験の影響をたびたび受けた。核実験の度に降水量が増大したことが、特に第6回、8回、10回中国核実験での降水量が多くなったことが時系列に記録されている。⁽²⁾1980年10月の第26回中国核実験を最後に大気圏内核実験は行われなくなり、核実験は地下実験に移行した。その結果、1981年の春季を極大として、人工放射能の降水量は徐々に減っていくようになった。

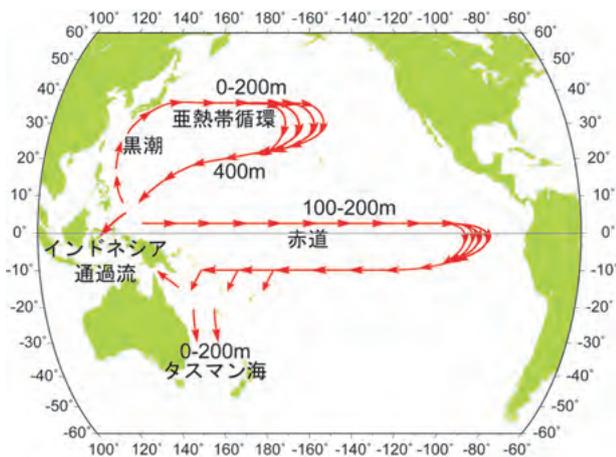
1986年4月26日にウクライナ・チェルノブイリ原発で大事故が発生し、大量の放射能が環境中に放出された。5月3日以降、つくば市の気象研究所では、 ^{131}I 、 ^{132}Te 、 ^{132}I などを大気中



第1図：人工放射性核種の月間降水量の変動。2011年3月以降の ^{137}Cs 月間降水量は暫定値

及び降水中に検出した。⁽³⁾ 1986年5月の人工放射能の月間降下量は、¹³¹Iで約5900 Bq m⁻²、¹³⁷Csでは、約130 Bq m⁻²を記録した。⁽³⁾ 大気圏核実験に起源を持つ全球フォールアウトは、人類が直面したまさに最初の地球環境問題であった。チェルノブイリ原発事故での¹³⁷Csの環境への放出総量は85 PBqであるのに対し、核実験で北半球に降下した¹³⁷Cs総量は1970年1月時点で765±30 PBqである。⁽⁴⁾

東京電力福島第一原子力発電所事故以前の太平洋の海水中の人工放射性核種は、主に大気圏核実験に由来する全球フォールアウトが起源である。大部分の人工放射性核種が海洋表面に降下したのは、上述のように大気圏核実験が盛んに行われた1960年代の前半である。北太平洋での降下の特徴としては、日本を含む亜熱帯循環北西側での降下量が大きいことが挙げられる。⁽⁴⁾ 大規模核実験に起源を持つ¹³⁷Csは、海面に降下したあと海洋内部の輸送過程に従って海洋内部へと輸送された。複数の最近の研究成果から推定される¹³⁷Csの地球規模での輸送経路を第2図に示す。



第2図：¹³⁷Csの地球規模での輸送経路

亜熱帯循環内を北緯24度線日付変更線の東側では南西方向に輸送され、その後赤道に沿う東向き輸送となり、太平洋の東端で赤道を越え、赤道の南で西向きに輸送される。⁽⁵⁾ その後一部はタスマン海に輸送される。北太平洋では、一部は亜熱帯循環に沿って日本沿岸に戻っている。

2. 2. 福島事故以降の人工放射能の変動

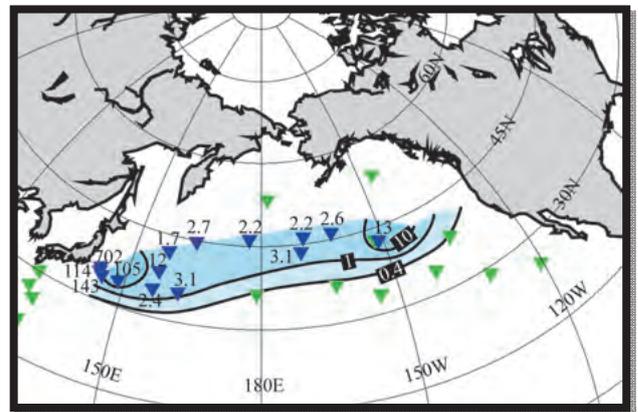
気象研究所では、大気および海水試料の採取及び試料中の放射能の分析を福島事故前後で継続しており、その結果は気象研HPにも掲載されている。検出された放射性核種は、⁹⁹Mo-^{99m}Tc、^{129m}Te-¹²⁹Te、¹³²Te-¹³²I、¹³¹I、¹³³I、¹³⁴Cs、¹³⁶Cs及び¹³⁷Csである。つくばでの大気時系列データは、2度の濃度上昇を示した。これらのピークは、2011年3月の福島原発からの放射性物質を多く含む気塊の関東平野への顕著な移流拡散

事象を捉えていると考えられる。それぞれのピークは、事故現場での放出物の違いを反映して、異なる放射性核種の組成を示した。この組成の違いは、関東、東北地方における、場所による放射性核種降下量の違いを生み出した可能性がある。⁽⁶⁾

月間降下物中の¹³⁷Csも事故前に10 mBq m⁻² month⁻¹であったものが2011年3月には27 kBq m⁻² month⁻¹まで増加し、その後チェルノブイリ事故のときと同様に対流圏での滞留時間を反映した速い速度で減少した(図1)。

この55年間の月間降下量について¹³⁷Cs月間降下量を鍵として整理しておく。¹³⁷Cs月間降下量の1-100位まで(表省略)を見ると、2011年3月(27 kBq m⁻²)、同年4月(2.3 kBq m⁻²)と2011年東電福島原発事故に由来する降下量が歴代第1位と2位を占める。歴代(つくば(茨城県)/高円寺(東京都杉並区))の降下量の中で大気圏核実験起源である1963年6月の550 Bq m⁻²は55年間では第3位であり、2011年3月に観測した27 kBq m⁻²は核実験起源の最大月間降下量のほぼ50倍である。なお、4位の2011年5月は1963年6月と同じレベルである。

5位から18位までは1957-1963年の大気圏核実験に起源をもち、成層圏-対流圏交換が活発になる春期に起きていた降下量の極大が並び、19位に1986年5月のチェルノブイリ事故による降下量の131 Bq m⁻²がある。1968-1974年にかけて中国第6、8、10、15回の大気圏核実験が59-100位に並ぶ。



第3図：商船により採取された表層海水試料による北太平洋表層での2011年4-5月での¹³⁴Csの分布(単位 Bq m⁻³)

大気環境と同様に、多量の放射能が海洋に加えられた。福島事故の場合、北-北西の風が卓越し低気圧の通過に伴い太平洋上への輸送も顕著であったため、事故に際し大気中に放出された放射能のかなりの部分が直接海上に降下したと推測できる。さらに、高濃度の放射能で汚染された水が海洋に直接漏洩していることも判明した。福島原発近傍の沿岸では4月上旬に68 x 10⁶ Bq m⁻³を最高として、8月末まで10⁴

～ 10^5 Bq m⁻³の値が測定されている。⁽⁷⁾ 11月上旬においても、 10^3 ～ 10^4 Bq m⁻³の値が測定されている。さらに30 km圏のすぐ外側での文部科学省および福島県による測定では 10^2 ～ 10^5 Bq m⁻³となっている。事故前の同海域での¹³⁷Cs濃度が 1.5 ～ 2 Bq m⁻³であったので、7月末時点で比較しておよそ三桁大きい値である。東電福島事故現場から100～500 km離れた西部北太平洋での¹³⁷Cs濃度は 10^1 ～ 10^2 Bq m⁻³となっており、事故前の¹³⁷Cs濃度に比べて1～2桁高い状態である。福島事故の現場から100～1000 km離れた西部北太平洋での2011年4月の¹³⁷Cs濃度は 10^1 ～ 10^3 Bq m⁻³となっており、事故前の¹³⁷Cs濃度に比べて1～3桁高い状態であったと報告されている。⁽⁸⁾ さらに、北太平洋全域の測定結果によると、4月上旬にすでにわずかだが、3000 km以上離れている日付変更線を越えた東太平洋でも¹³⁴Csが 2 ～ 13 Bq m⁻³程度検出されるとともに、¹³⁷Csが事故前から少なくとも2倍程度増加していることが示された(第3図)。これら遠方で検出された福島事故由来の放射性セシウムは輸送速度から判断して、直接海洋に漏洩したものが海流によって運ばれたものではなく、大気経路で輸送され海面に降下したものである。

3. まとめ

環境中の⁹⁰Srや¹³⁷Csは長半減期であるがゆえに放射線防護の観点から、監視されなければならない核種である。これらの核種についての継続監視の重要性は、福島事故から一年が経とうとしている今日議論する必要がないくらい明らかである。一方、環境中の⁹⁰Srおよび¹³⁷Csの長期観測から、これらの核種は大気循環や環境変化の指標として用いることができることも分かってきた。⁽⁹⁾ 今後も、環境中の⁹⁰Sr、¹³⁷Csの観測を続けることは、放射線防護ばかりでなく地球環境監視の観点からも重要である。

参考文献

- (1) Miyake, Y. 1954: The artificial radioactivity in rain water observed in Japan from May to August, 1954, *Papers in Meteorology and Geophysics*, **5**, 173-177.
- (2) Katsuragi, Y. 1983: A Study of ⁹⁰Sr Fallout in Japan, *Papers in Meteorology and Geophysics*, **33(4)**, 277-291.
- (3) Aoyama, M., K. Hirose, Y. Suzuki and Y. Sugimura, 1986: High level radioactive nuclides in Japan in May, *Nature*, **321**, 819-820.
- (4) Aoyama, M., K. Hirose, Y. Igarashi, 2006: Re-construction and updating our understanding on the global weapons tests ¹³⁷Cs fallout, *Journal of Environmental Monitoring*, **8**, 431-438.

- (5) 青山道夫, 2011: 大気圏核実験及び福島第一原子力発電所事故による太平洋の海洋汚染, *ISOTOPE NEWS*, **692**, 10-14.
- (6) 気象研究所, 2011: 環境における人工放射能の研究2011, 128pp.
- (7) Buesseler, K., M. Aoyama and M. Fukasawa, 2011: Impacts of the Fukushima nuclear power plants on marine radioactivity, *Environmental Science & Technology*, **45(23)**, 9931-9935, doi: 10.1021/es202816c.
- (8) Honda, M. C., T. Aono, M. Aoyama, Y. Hamajima, H. Kawakami, M. Kitamura, Y. Masumoto, Y. Miyazawa, M. Takigawa and T. Saino, 2011: Dispersion of artificial caesium-134 and -137 in the western North Pacific one month after the Fukushima accident, *Geochemical Journal*, **46**, e1-e9.
- (9) Igarashi, Y., H. Fujiwara and D. Jugder, 2011: Change of the Asian dust source region deduced from the composition of anthropogenic radionuclides in surface soil in Mongolia, *Atmospheric Chemistry and Physics*, **11**, 7069-7080.

※本研究は、放射能調査研究費による研究「大気を通じた人工放射性核種の陸圏・水圏への沈着およびその後の移行過程の解明研究(平成23～26年度)」(研究代表者: 五十嵐康人(環境・応用気象研究部)、研究分担者: 青山道夫(地球化学研究部)、財前祐二、直江寛明、梶野瑞王(環境・応用気象研究部))として行われた。