

地質学と環境放射能 (2)

— 放射性核種の観測と挙動 —

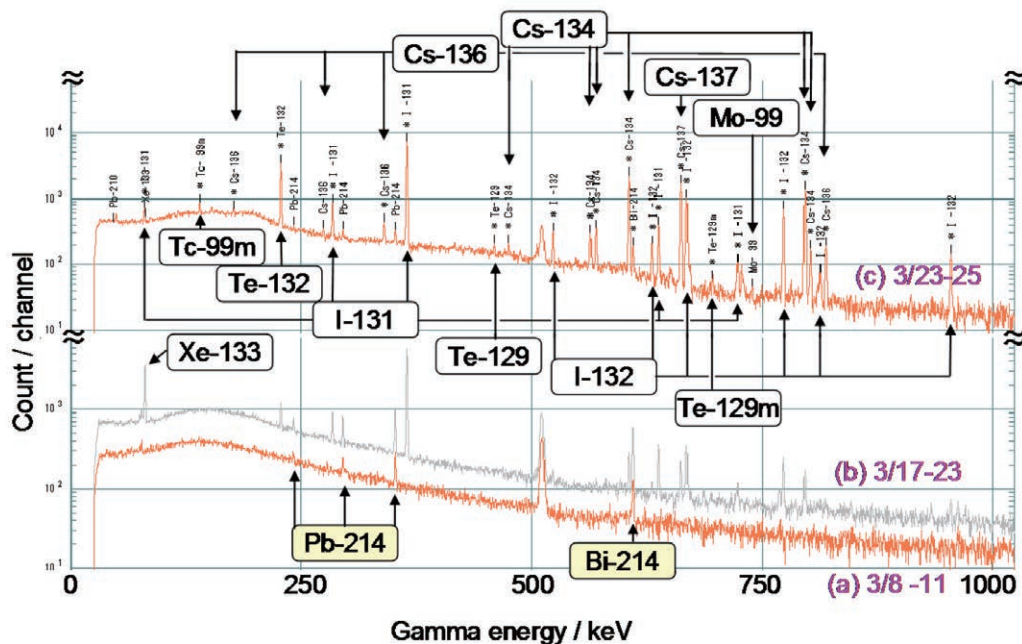
金井 豊¹⁾

前回の報告(金井, 2012a)では, これまでの環境放射能と事故後の環境放射能について簡単に述べた. 今回の報告では, 放射性核種の観測例とその挙動について紹介する.

6. つくばで観測された放射性核種

つくばは福島第一原子力発電所から約170km南南西に位置している. ここでも原発事故の影響が認められている. 産業技術総合研究所(以下, 産総研)では計測標準研究部門・計測フロンティア研究部門・環境安全管理部の協力で, シンチレーションカウンタTCS-171を用いて, つくば中央第一事業所における線量率の変化を2011年3月15日から計測している(産業技術総合研究所, 2012c). それによると, 15日と16日に線量率の上昇が観測されている. 高エネルギー加速器研究機構でも線量率が計測されていて, 15日に大きな上昇が認められている(高エネルギー加速器研究機構, 2012).

実際に観測された放射性核種としては, 3月11日に産総研の敷地内の地面に降下した塵を分析したところ, Xe-133, Te-132 / I-132, I-131, I-133, Cs-134, Cs-137等が検出されており(産業技術総合研究所, 2012c), これらの核種が大気中を風に乗って運ばれてきていたことが分かる. 筆者が使用している放射能測定装置でも, 試料を入れない状態で測定したバックグラウンドスペクトルに, 僅かではあるがXe-133(半減期: 5.25日, 以下同様), I-131(8.04日), Te-132(78時間) / I-132(2.28時間), Cs-137(30.17年)などが検出された(金井・齋藤, 2011). その後Xe-133は検出限界以下となり検出されなくなったが, 代わりにTc-99m(6.02時間), Cs-134(2.062年), Cs-136(13.16日), Te-129m(33.5日) / Te-129(69分)などが現れ, Cs-137, Te-132, I-131, I-132などが高計数率で現れるようになった(金井・齋藤, 2011). これらのガンマ線スペクトルを, 第7図に示した. 事故前においては, ウラン系列から生じるPb-214およびBi-214に



第7図 事故後に原子炉由来の核種で汚染された検出装置のバックグラウンドスペクトルの一例.
(a)は事故前, (b)・(c)は事故後に測定されたガンマ線スペクトル.

1) 産総研 地質情報研究部門

キーワード: 地質学, 環境放射能, 自然放射線, 人工放射線, 原発事故, エアロゾル, 堆積物

よる自然放射線がバックグラウンドの主体であったが、事故後においては多くの原子炉由来の人工放射性核種が検出器を汚染したことが分かる。本装置は環境中の極微量天然放射性核種を計測するために、低バックグラウンド測定を目指していただけに、このような汚染は非常にショックであった。また、実験室の実験台の上に置いたポリエチレン袋や検出器の周囲を覆ってバックグラウンド低減化に寄与していた発泡スチロールも汚染されていることが判明したため、これらの除去と内部の拭き洗浄などの除染を余儀なくされた(金井・齋藤, 2011)。なお、本装置において検出された原子炉由来の放射性核種の実際の濃度は、健康に影響を及ぼすようなものではないことを付け加えておく。

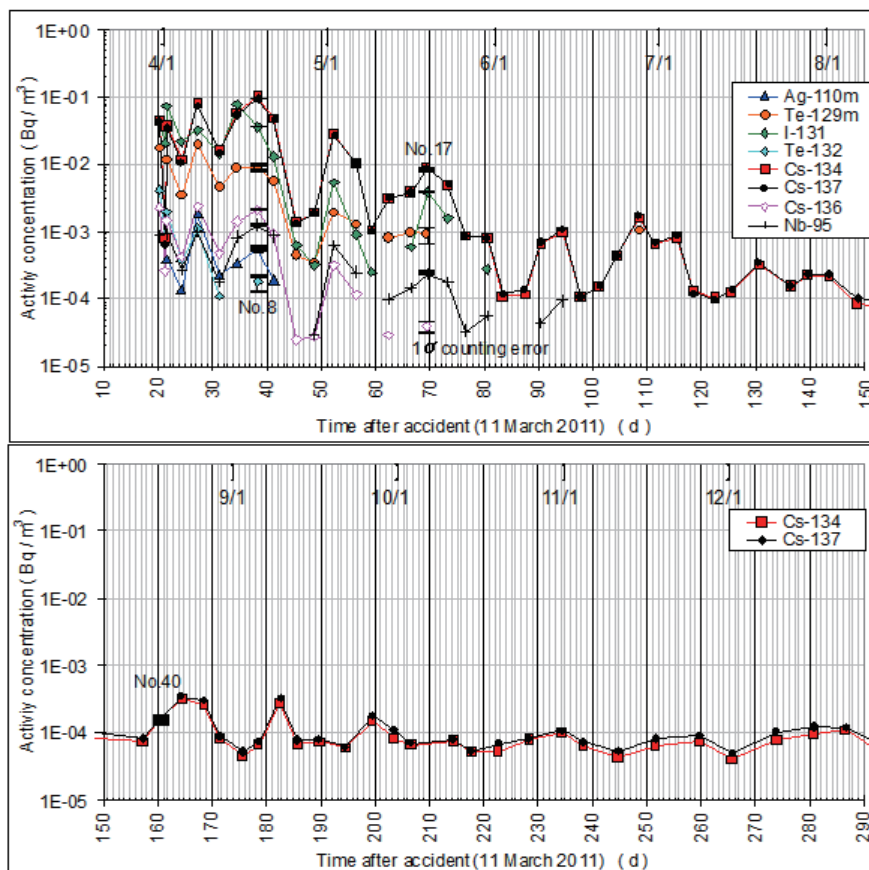
7. エアロゾルで運ばれる放射性核種

大気中に放出された放射性核種は、ガス状、もしくはエアロゾルなどに付着して、プルームとなって風に流されて移動する。地質調査総合センターでは数年前まで風送ダストの研究をしており(金井, 2001; 上岡・金井, 2002; Kanai *et al.*, 2005; Ohta *et al.*, 2005), 幸いにもダストサ

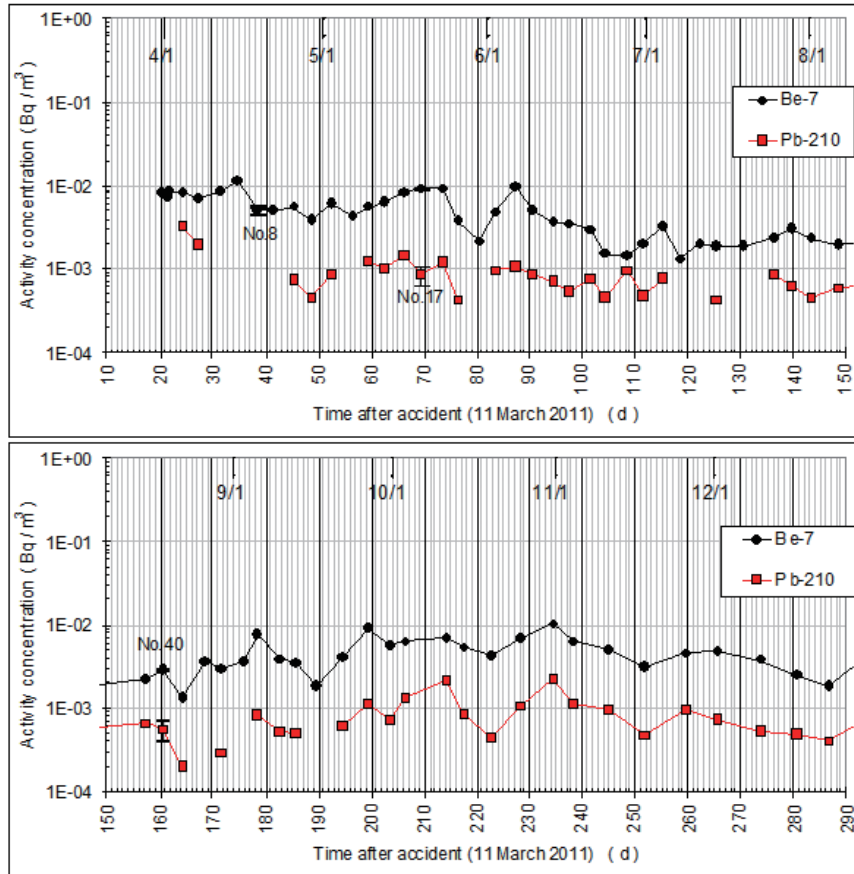
ンプラーが稼働できる状況にあった。このため、震災被害から復興し始めた3月末からエアロゾルのサンプリングを開始し、エアロゾル中の放射性核種の測定を行った(Kanai, 2012; 金井, 2012b)。

放射性核種のモニタリングは、地域住民の放射能被ばくに対する不安感を払拭するのに寄与するばかりでなく、万が一の場合の線量評価にも貢献できる。また、地球科学的にも大気による物質移動や堆積物への物質移動のトレーサーとして有用であり、記録としてとどめておけば今後の種々の研究にも活用できるものである。

第8図に、3月末からのモニタリング結果を示す(金井, 2012b)。測定開始直後には、Tc-99m (6.02時間)、Cs-134 (2.062年)、Cs-136 (13.16日)、Te-129m (33.5日) / Te-129 (69分)、I-131 (8.04日)、Te-132 (78時間) / I-132 (2.28時間)、Cs-137 (30.17年) などが増減しながらも継続的に観測されていたが、半減期の短い核種は5月中にほとんどが本装置の測定検出限界以下となり、6月27日のTe-129m / Te-129の検出を最後に、Cs-134とCs-137のみが検出されるようになった。その後は両セシウム同位体が増減の変動をしながらも 10^{-4} Bq/m³のレベ



第8図 第7事業所において採取されたエアロゾル中の人工放射性核種(金井, 2012b)。



第9図 第7事業所において採取されたエアロゾル中の天然放射性核種(金井, 2012b)。

ルで漸減している。これらの濃度は、Cs-137の濃度に関していえば、事故前の大気中平均濃度レベルであった 10^6 Bq/m³(日本分析センター, 2012)と比較すると、おおよそ100倍程度高い値となっているが、チェルノブイリ原発事故後当時の濃度の約10倍程度であり、1970年代にも同程度の濃度が観測されている。また、ラジオアイソトープ利用施設において法律で規制された排気中の濃度限度30 Bq/m³と比べると、その濃度は10万分の1以下である(金井, 2012b)。

このように2011年12月の大気中濃度は事故当時と比べるとかなり低減したが、放出された放射性核種の総量はかなりの量であり、それが無くなったわけではなく、そのほとんどが地表面へのフォールアウトとしてそこに移動したことにほかならない。半減期が2.062年のCs-134は、10年後にはかなり減衰して3%程度となってほとんど無視できるのに対し、半減期が30.17年と比較的長いCs-137に関しては、10年後でも72%が残存しており、今後はこれらの除染と回収・隔離が最重要課題である。

第9図には、同じくエアロゾル中の天然放射性核種であるBe-7とPb-210の濃度変化を示した(金井, 2012b)。

Be-7は、大気上空の成層圏内で窒素・酸素と宇宙線との核反応で生じる核種で、対流圏にまで降下して観測されている。一方、Pb-210は大気でウラン系列核種のラジウムから生じた気体のラドンが大気中に放出され、それが崩壊して生じた核種である。これらは自然起源であるだけに常時存在しており、また、第8図と見比べてわかるように、その放射能は現在のセシウム同位体の放射能レベルよりも高い。これは、大気中の環境放射能を議論する場合に重要な点であろう。

Be-7の成層圏からのフラックスは季節変動があり、春と秋に高いことが知られている。第9図でも、春に高く夏に低下している傾向がうかがえる。また、Be-7とPb-210は、定常的に地表面に降下して蓄積していることから、それぞれの半減期に応じて堆積物の堆積速度や環境変化の指標として利用されている。これらの著者らによる研究例については、別途紹介する予定である。

8. 堆積物中の放射性核種

事故によって放出された放射性核種は、そのほとんどが

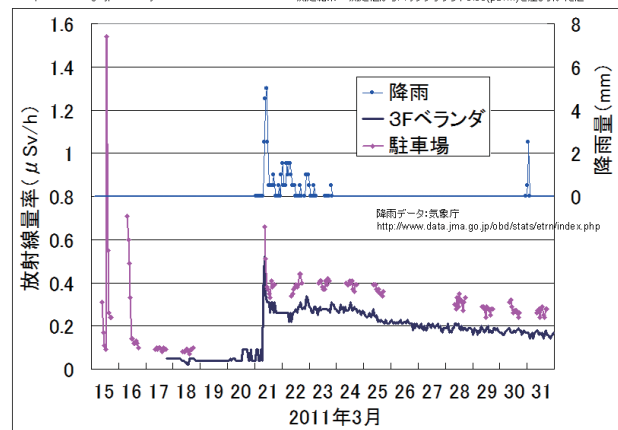
ドライフォールアウトやウェットフォールアウト（降雨）として地表に降下して、地表の設置物や土壌など堆積物中に移行する。また、降雨とともに落ちた放射性核種は、集められて水たまりとなったり、排水溝に流されたりして、その流路やたまり場にある土壌、特にそれらの構成成分である粘土成分などに吸着されて濃縮する。

つくばにおいても、産総研での放射線量の変化と降雨との関係が指摘されており（齋藤，2011），その当時のデータを第10図に示した。事故後の3月15日・16日に一時的に高線量率が観測されたが、程なくバックグラウンドレベルに低下したのに対し、21日に観測された高放射線量率はその後も高いまま残って漸減しており、これは21日に降った雨の影響で放射性核種が地面に降下し、地面からの放射線による線量率の増加を示していると考えられる。

産総研第7事業所のグラウンドにおいて、2011年6月に表面から深さ数ミリの表層土壌試料を採取して、測定したガンマ線スペクトルを第11図に示した。この試料では、Te-129m/Te-129の小さなピークも検出されているが、半減期の短いヨウ素などは検出されておらず、主な核種はCs-134とCs-137である。なお、スペクトルの下方に示した核種は土の中に含まれるウラン・トリウム系列核種やカリウムの放射線である。原発事故によって放出された放射性核種は、大気中にエアロゾルとして飛散した後に雨とともに地表面に落ちる。土壌に降下したCs-137などは、ほとんどが表層の粘土鉱物などに吸着されてとどまっており、深度方向の濃度分布は急激に減少する。その一例を第12図に示した（Tanaka *et al.*, 2012）。表層5 cmまでの土壌に大部分が分布していることが分かる。原発事故の際の緊急測定時における試料採取法でも、土壌は表層5 cmを

つくばでの観測例

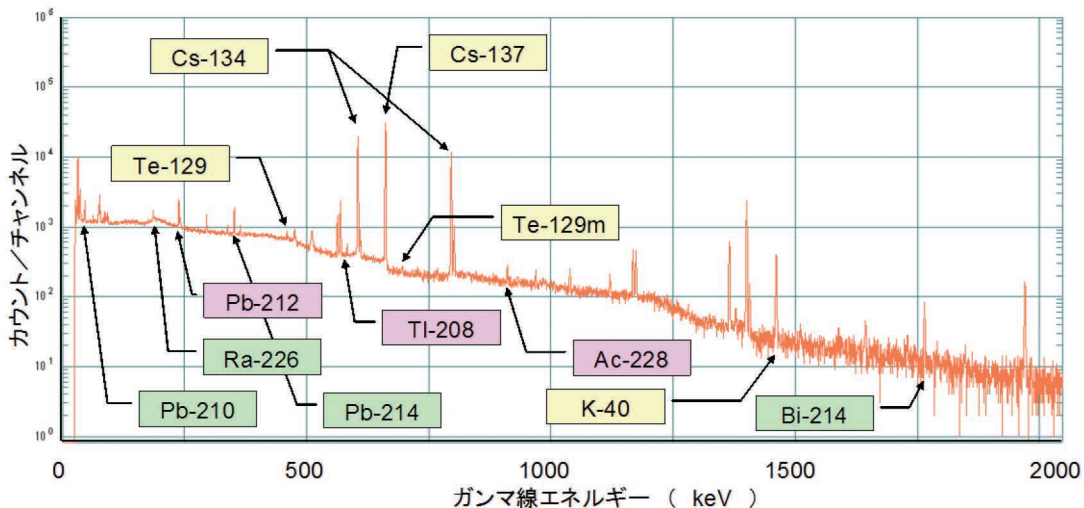
<測定場所>茨城県つくば市東1-1 産総研つくば中央第一事業所
 <測定条件>測定器 シンチレーションカウンタGCS-171
 <測定>計測標準研究部、計測ロジック研究部、環境安全管理部が協力実施
 測定結果 測定値からバックグラウンド0.06(μSv/h)を差し引いた値



第10図 産総研での放射線量率の変化と降雨量との関係。

採取してその放射能を測定することが手順として決められている（文部科学省，1992）。本測定装置で求められたグラウンドの土のCs-137濃度は約1 Bq/gと見積もられており、ほんの表面での濃度なので、通常の厚みを持つ土壌の塊とすれば、その数10分の1にでもなってしまうであろう。

文部科学省では多くの大学や研究機関の協力のもと、原発から概ね100 km圏内の約11,000個という膨大な数の土壌を採取して、ゲルマニウム半導体検出器を用いた核種同定も含めて測定を行い、Cs-134, Cs-137, I-131, Te-129m, Ag-110m等の沈着量（単位面積当たりの放射エネルギー）の土壌濃度マップを作成した（文部科学省，2012a）。土壌の人工放射性核種はそのほとんどがセシウム同位体である。測定値は同一箇所でもばらつきが大きく、各箇所における放射性物質の降下状況、土質、有機物含有量等の違いにより放射性物質の沈着状況が異なると推定されるが、平



第11図 産総研のグラウンドで採取した土壌試料のガンマ線スペクトル。

均的には沈着量と空間線量率とは一定の相関があることが示されている (文部科学省, 2012a).

地表面に落ちた放射性セシウムは、雨水と挙動を共にする場合が多く、雨樋、その排出溝、雨水枡、側溝、水たまり、窪地、草やコケの生えている土などに集まりやすい。また、風に乗って移動するので、窓の棧や建物の凹んだ吹きだまりになりそうなところにも集まりやすいと想像される。このような箇所では注意が必要である。実際、原発から遠く離れた関東でも高線量率のホットスポットが見つかったり、東日本の各地にある汚水処理場や汚泥処理場の汚泥、ゴミ焼却所の焼却灰などでは、放射性物質の吸着・濃縮と減容による濃縮等が重なって、かなり高濃度となる場合が報告されている。

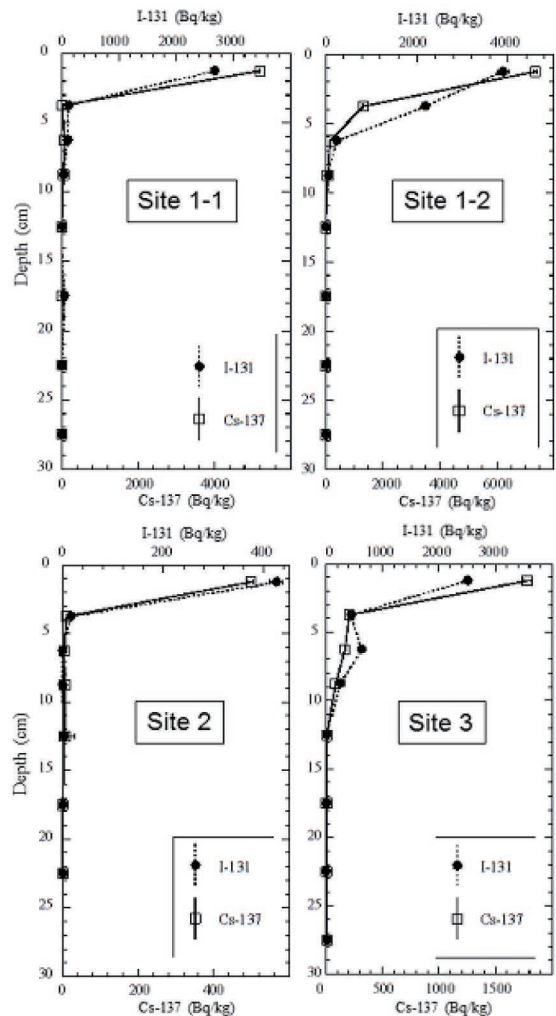
廃棄物に関しては、「平成二十三年三月十一日に発生した東北地方太平洋沖地震に伴う原子力発電所の事故により放出された放射性物質による環境の汚染への対処に関する特別措置法施行規則 (平成23年12月14日環境省令第33号)」第14条により、廃棄物を一般的な処理方法で安全に処理するための基準として、放射性セシウムの濃度を8 Bq/gとしている (環境省, 2011b)。焼却灰等で8~100 Bq/gの廃棄物に関しては、適切な遮へい措置・溶出防止措置を講じて、モニタリングをするなどの管理型処分場の埋め立て処分が可能としている (環境省, 2011c)。また、「核原料物質、核燃料物質及び原子炉の規制に関する法律」や「放射性同位元素等による放射線障害の防止に関する法律」などによる規制機関からの管理から外せ、日常生活に再利用しても安全な基準であるクリアランス基準として、0.1 Bq/gと定めている (環境省, 2011d; 文部科学省, 2012b)。

9. 放射能との共存

放射能・放射線については既にいろいろな解説や話題提供をしてきたし (金井, 1987, 1990, 1991, 1996, 2000a, b)、一般書でも詳しく説明されているので、ここで繰り返して詳細に語る必要はないだろう。ここで繰り返して強調しておきたいことは、「環境放射能」という言葉があるように、私たちの周りの環境である地球や宇宙は放射線で満ちているということである。

2011年の年末に、大型ハドロン衝突型加速器 (LHC) による実験においてヒッグス粒子の存在を示す興味深い現象が初めて確認された、というニュースが話題となり、

今年の7月にはそれが確実性を帯びて再び注目を集めている。このヒッグス粒子は宇宙形成に関係している。宇宙形成モデルの一つに初めのビッグバンとB2FHモデル (Burbidge *et al.*, 1957) などがあり、それによると宇宙の始まりは無限に大きな密度を持つゼロ体積の単一点 (素粒子と、重力・強い力・弱い力・電磁力を統一した単一力からなる) が膨張と温度低下を開始したという。ヒッグス粒子は素粒子の質量を説明するもので、ビッグバンから 10^{-13} 秒過ぎたところに真空の相転移が起こり、真空がヒッグス粒子の場で満たされて素粒子は質量を持つようになったという仮説である。宇宙形成モデルでは、1秒後には光子のほか電子・陽電子や中性子、陽子などが生まれたとされる (Draganic *et al.*, 1996)。約100秒後に原始の核合成が始まり、初期は水素とヘリウムの原子核が作られ、その後は様々な核反応で核合成が起こっていった。30万年後には、温度が低下してようやく水素やヘリウムの原子が作られた (増



第12図 福島県で採取した土壌における放射性核種の鉛直分布の一例 (Tanaka *et al.*, 2012) .

田ほか, 1991). 10億年後には自己重力による収縮で銀河や恒星が現れ, 星内ではそれらの核融合を経て炭素 (C), 窒素 (N), 酸素 (O) の核種を作っていく, 更に核融合を繰り返してシリコン (Si), マグネシウム (Mg), 鉄 (Fe) 等を始めとする重元素ができていった (s-過程, r-過程など). このように宇宙誕生後, 宇宙の中では核融合を通じて元素が生成しているのだから, それに伴う様々な放射線が満ちあふれているのである.

現在でも宇宙線が地上に降り注いでいるし, 核合成された放射性核種が大気中に存在している. 先に述べたBe-7などはその良い例である. また, 宇宙ができたときに作られた放射性核種も地球上に残存して放射線を発しており, 大地からの放射線として最初に紹介したウラン・トリウム の系列核種や, K-40などもその良い例である.

このような放射線は, 自然放射線のバックグラウンドとなってきたし, 地球の熱源ともなっている. 地球が活動し生きていくためのエネルギーの一部は, こうした放射性核種の崩壊熱である. そのエネルギーは大地の組成によって変わるが, 岩石中のウラン1 ppmあたり 9.7×10^{-11} mW, トリウム1 ppmあたり 2.6×10^{-11} mW, カリウム1%あたり 3.55×10^{-11} mWになるといふ. 極言すれば, 今ある地球の自然の姿は, 放射線と共に歩んだ結果ともいえる.

人類の比較的長い歴史の中でも, また現在でも, 人類はこのような自然放射線とうまくつきあってきた. この自然放射線は, 初めにも述べたように地形や地質に依存するところが大きく, 国内でも地域によって差があり, さらに世界各地でも様々なレベルで存在している. 1年間に人間が受ける放射線量は, 生活スタイルや食生活からも影響を受け, 世界平均で年間2.4 mSv, 日本では2.15 mSvとされているが (前出), ブラジルのガラパリの様に特異な地質によって年間10 mSvというところも存在する. そこでも特別異常はないともいわれているものの, 放射線とうまくつきあうためには, 要は, 人体にどのようなレベルの放射線量が, どのように影響するかを明確にして, 安全性を評価していくことであろう.

今回の原発事故によって, 環境放射線レベルはかなり上昇した. それは膨大な量の人工放射線の付加によるもので, 事故が起きた発電所周辺では従来の環境放射能の概念にはそぐわないほどの高レベルである. 放射線が人体に対して何らかの影響をもたらす以上, その悪影響は避けなければならない. 社会生活を送る上でゼロリスクということはあり得ないが, 低レベル放射線の影響評価が確定していない

現在でも, 線量は低いに越したことはない. 一方, 現実的な対応を考慮したときに, マイナスと同時にプラス面とのバランスが必要となってきている. 例えば, 自動車は事故の危険性がゼロではないので, 自動車が無くなれば事故の危険性は全くなくなるが, 自動車のもたらす利便性・経済効果なども同時になくなる. 社会におけるリスクとプラス効果との合理的な判断が重要であり, これは放射線防護におけるALARA (As Low As Reasonably Achievable) の原理 (合理的に達成可能な限り被ばく量を低減する) と共通するところがあるように思える. しかし, これは事故に関してのことではなく, 現状でのその場における利益とリスクを言っているのだから, 事故そのものはあってはならない問題外の事象である. 2011年6月に日本医学放射線学会は, 医療被ばくは患者の健康を守るという利益を保証した上での被ばくであり, 放射線作業員の被ばく (職業被ばく) は放射線利用に伴う作業という社会的利益のためであり, 今回のような災害による被ばくは公衆に何らの利益ももたらさない被ばくであり, これらの3種類の被ばく量は相互に比較できないという声明を発表している (日本医学放射線学会, 2011).

放射線に対する誤解として, 放射線量とその影響に関する「直線しきい値無しモデル」があるが, それは放射線防護や管理の立場から採用されており, 実際のリスクを反映するものではないにもかかわらず, ほんの少量でも危険と思われている. また, 様々な基準値が安全と危険の境界値であるかのような捉え方をされている場合があるが, 安全に関しては絶対といえるものはない. 安全・安心が心地よい言葉として良く引用されるが, 「安全とは, 行為や存在に付随する危険に対し, 更なる対策の必要性を認めないこと」, 「安心とは, 行為や存在に付随する危険に対し, とられた対策が適切であることを確認すること」という加藤 (2012) の説明は, なるほどと思わせるものがある.

現状に甘んじろということではなく, 逆にゼロにしるということでもなく, 合理的に達成可能な限り低い環境作りを目指すことが重要であろう. 放射性物質使用施設のような一部の場所だけ高線量という状況ではなく, 我が国土の多くの場所に放射性核種が飛散しているという状況下, また, 原発の周辺地域では帰還困難地域・居住制限地域が存在しているという現在, 以前のような生活に戻るにはそれなりの時間が必要であろう. 事故前のバックグラウンドレベルの放射線のイメージを, 原発事故現場での放射線レベルと比べることもできないし, 同じ物差しで考えることも

できないであろう。できるだけ早く復興することが必要であるが、そのためにも国民が放射線によるリスクの考え方を理解し、納得できるレベルを想定して、国民すべてが放射線とうまく共存できるような施策が望まれる。

10. おわりに

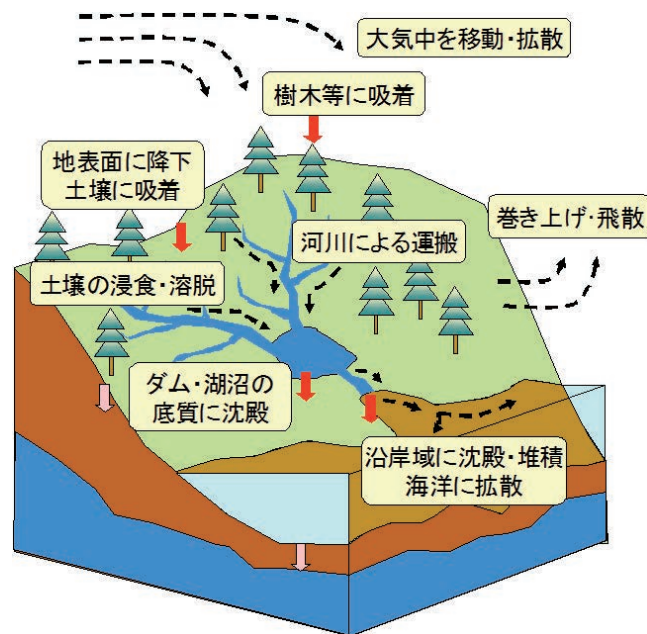
地質学が研究対象とし、私たちが生きている地球は、放射線を放出し続けているが、それは太古の昔からの自然放射線であり、原発事故の人工放射線とは異なる物である。しかし、放射線の影響は自然起源でも人工起源でも同等であり、その影響評価は客観的になされなければならない(正確には、外部被ばく・内部被ばくの違いや核種・その化学形などによって異なる部分もある)。

2011年の年末に、事故収束に向けた工程表「ステップ2」にある冷温停止状態が宣言されたが、これで原発事故が収束したわけではなく、まだまだ険しい道のりが残されている。事故時には大気中濃度が急激に高まったが、現在では大気から降下・堆積した土壌・堆積物からの放射線が最大の関心事となっている。また、第13図に示したように、それらも降雨・河川による浸食・運搬・移動によって、湖沼や沿岸海域への今後の移動濃縮が懸念されている。これまでに放出された莫大な量の放射性核種をどのように除染・回収するか、その方法や作業手順など、これまでに私たちが経験したことのないことをしなければならぬ。作業に当たる際の防護も、回収物の遮蔽も、処分形態・処分場の安全確保も新たな知見・技術や応用を要することになるだろう。そのためにも多くの英知を結集する必要がある。

原子力の問題はエネルギー問題と絡んで複雑で難しい課題である。そしてそれは環境放射能とも強く関係する事項である。私達は正しい知識・理解、そして正しい情報を得て、望ましい方向性を探りながら今後の社会を作っていく必要がある。拙文がそのための理解の一助となれば幸いである。

文 献

- Burbidge, E. M., Burbidge, G. R., Fowler, W. A. and Hoyle, F. (1957) Synthesis of the elements in stars. *Rev. Mod. Phys.*, 29, no. 4, 547-650.
- Draganic, I. G., Draganic, Z. D. and Adloff, J.-P. (1996) 放射線と放射能 宇宙・地球環境におけるその存在



第13図 環境中放射性核種の主な挙動と移動プロセス。

と働き。松浦辰男・今村 昌・長谷川圀彦・橋本哲夫・朝野武美・小高正敬(共訳), 学会出版センター, 東京, 280p.

上岡 晃・金井 豊(2002) つくば市において粒径別に採取された風送塵中の水溶成分の化学組成. 第49回日本地球化学会年会, 要旨集, 136.

金井 豊(1987) 原子が奏でる不思議なメロディーー分析と放射線. 地質ニュース, no. 396, 14-25.

金井 豊(1990) ウランと先端産業ーマクロとミクロの世界. 地質ニュース, no. 426, 34-41.

金井 豊(1991) ラドンと環境問題ー地球化学について. 地質ニュース, no. 446, 33-46.

金井 豊(1996) 放射能の発見と地球化学. 地質ニュース, no. 508, 48-61.

金井 豊(2000a) ラジウムの地球化学ーラジウムと放射線測定器の1世紀ー. 地質ニュース, no. 554, 17-29.

金井 豊(2000b) 鉛の地球化学ーウラン系列核種²¹⁰Pbの堆積学的応用法を中心として. 地質ニュース, no. 556, 20-34.

金井 豊(2001) 風送ダストプロジェクトの概要と地質・地球化学におけるエアロゾル研究. 地質ニュース, no. 565, 11-23.

Kanai, Y. (2012) Monitoring of aerosols in Tsukuba after Fukushima Nuclear Power Plant incident in 2011.

- J. Environ. Radioact.*, **111**, 33–37. doi:10.1016/j.jenvrad.2011.10.011.
- 金井 豊 (2012a) 地質学と環境放射能 (1) – 自然放射線と人工放射線 –. *GSJ地質ニュース*, **1**, 272–278
- 金井 豊 (2012b) エアロゾルにより輸送された放射性核種の観測 (2011) – 福島第一原子力発電所事故に関連して –. *地質調査研究報告*, **63**, 107–118.
- 金井 豊・齋藤文紀 (2011) 環境ガンマ放射線測定用井戸型ゲルマニウム検出器の特性と原発事故によるバックグラウンド汚染 – 地質調査総合センターに設置されたシステムを例に –. *地質調査研究報告*, **62**, 357–369.
- Kanai, Y., Ohta, A., Kamioka, H., Terashima, S., Imai, N., Kanai, M., Shimizu, H., Takahashi, Y., Kai, K., Hayashi, M., Zhang, R. and Sheng, L. (2005) Characterization of aeolian dust in east China and Japan from 2001 to 2003. *J. Meteorological Soc. Japan*, **83A**, 73–106.
- 環境省 (2011b) 平成二十三年三月十一日に発生した東北地方太平洋沖地震に伴う原子力発電所の事故により放出された放射性物質による環境の汚染への対処に関する特別措置法施行規則 (平成23年12月14日環境省令第33号), http://www.env.go.jp/jishin/rmp/attach/mo_h23-33a.pdf (2012/07/15 確認)
- 環境省 (2011c) 8,000Bq/kg を超え100,000Bq/kg 以下の焼却灰等の処分方法に関する方針. 平成23年8月31日, 環境省, <http://www.env.go.jp/jishin/attach/no110831001.pdf> (2012/07/15 確認)
- 環境省 (2011d) 100 Bq/kgと8,000 Bq/kgの二つの基準の違いについて. 環境省廃棄物・リサイクル対策部, http://www.env.go.jp/jishin/attach/waste_100-8000.pdf (2012/07/15 確認)
- 加藤和明 (2012) 原子力災害に関する放射線防護の喫緊課題. 第49回アイソトープ・放射線研究発表会要旨集, 172–175.
- 高エネルギー加速器研究機構 (2012) つくば (KEK) の放射線線量, <http://rcwww.kek.jp/norm/index.html> (2012/07/15 確認)
- 増田彰正・中川直哉・田中 剛 (1991) 宇宙と地球の化学. 大日本図書, 東京, 253p.
- 文部科学省 (1992) 放射能測定法シリーズ24 緊急時におけるガンマ線スペクトロメトリーのための試料前処理法. 文部科学省科学技術・学術政策局 原子力安全課 防災環境対策室, 平成4年, 50p.
- 文部科学省 (2012a) 東京電力株式会社福島第一原子力発電所の事故に伴い放出された放射性物質の分布状況等に関する調査研究結果について (平成24年3月13日) (平成24年6月15日修正), http://radioactivity.mext.go.jp/ja/contents/6000/5525/24/press_1.pdf (2012/07/15 確認)
- 文部科学省 (2012b) 放射線障害防止法に規定するクリアランスレベルについて (平成24年3月27日 一部訂正), http://www.mext.go.jp/b_menu/shingi/chousa/gijyutu/004/004/sonota/1301630.htm (2012/07/15 確認)
- 日本分析センター (2012) 大気浮遊じん中のCs-137の経年変化, <http://www.kankyo-hoshano.go.jp/01/0101flash/01010121.html> (2012/07/15 確認)
- 日本医学放射線学会 (2011) 原子力災害に伴う放射線被ばくに関する基本的考え方, <http://www.radiology.jp/modules/news/article.php?storyid=931> (2012/07/15 確認)
- Ohta, A., Terashima, S., Kanai, Y., Kamioka, H., Imai, N., Matsuhisa, Y., Shimizu, H., Takahashi, Y., Kai, K., Hayashi, M. and Zhang, R. (2005) Grain-size distribution and chemical composition of water-insoluble components in aeolian dust collected in China in spring 2002. *Bull. Geol. Surv. Japan*, **56**, 259–272.
- 齋藤則正 (2011) 福島原発とつくばの放射線量計測, http://www.aist.go.jp/aist_j/rad-accur/pdf/2011AIST_special_lect1.pdf (2012/07/15 確認)
- 産業技術総合研究所 (2012c) つくばセンター放射線測定結果, <http://www.aist.go.jp/taisaku/ja/measurement/index.html> (2012/07/15 確認)
- Tanaka, K., Takahashi, Y., Sakaguchi, A., Umeo, M., Hayakawa, S., Tanida, H., Saito, T. and Kanai, Y. (2012) Vertical profiles of Iodine-131 and Cesium-137 in Soils in Fukushima Prefecture related to the Fukushima Daiichi Nuclear Power Station Accident. *Geochem. J.*, **46**, 73–76.

KANAI Yutaka (2012) Geology and environmental radioactivity (II) : observation and behavior of radionuclides.

(受付: 2012年7月9日)