特別講演要旨
9 月 20 日（火）

1S01：A 会場（ホール）

奨励賞受賞講演要旨
9 月 21 日（水）

2S04：S 会場（ホール）

1S01

ナノカーボンの基礎科学と応用　～グリーンイノベーションに向けて～

（信州大学工学部[1]，信州大学カーボン科学研究所[2]）○遠藤守信[1,2]

１．はじめに

ナノカーボンの代表的物質であるカーボンナノチューブ（CNT）はナノテクを先導する材料として大きな期待を集め、応用開拓に研究のフェーズが進んでいる。CNT の生成法として触媒 CVD（CCVD）法が広く使われ、単層、2 層、多層 CNT が精度よく生成できるようになった。CCVD 法[1-3]は基本的には、ナノサイズの鉄粒子が広く使われ、（Ⅰ）基板上に分散したり（基板法）、それを（Ⅱ）反応炉中で浮遊せしめ（浮遊法）、あるいは（Ⅲ）両者の中間法でシリカ等の微小紛体を基材として鉄触媒等を担持して浮遊せしめて成長させる（流動床）方法が、それぞれ目的によって使い分けられている[1-4]（図１）。特に（Ⅱ）は高純度の CNT を生成する上で効果的で、単層、2 層[4]、多層 CNT 生成に採用され、また多層 CNT 生成法として（Ⅲ）の方法も含めて商業製造が展開されている。最近の Nature 誌でも紹介されたが、多層 CNT は素材ベースで 2015 年で約 500 億円の市場規模と予測している。いよいよ CNT イノベーションが歩を進めていると言えよう。ここでは CNT を中心にナノカーボンのこれまでの研究とその応用例や安全性・毒性研究の動向ならびに社会受容について、著者らのこれまでの発表論文等を中心に最近の国際会議の動向等も交えて紹介したい。

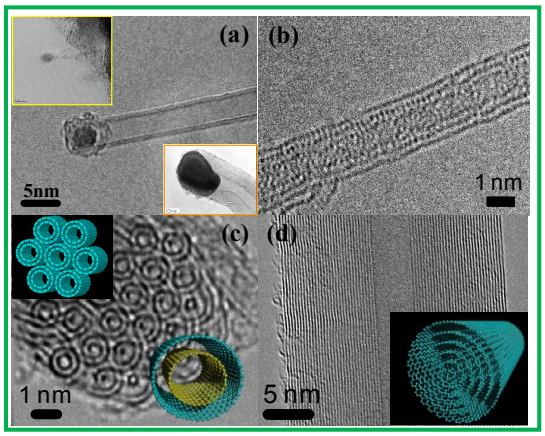

図１　CCVD 法による SWCNT(a), DWCNT(a,b,c)、MWCNT(a,d)の球面収差補正 TEM 像とそれらの構造モデル

２．CNT の生成と構造制御

CNT ファミリーの中でも 2 層 CNT（DWCNT）は CNT の中でも量子効果の発現、さらに優れた物理・化学特性が期待されている。たとえば 2 層 CNT 化学も興味深いものである。99%の高純度で DWCNT が鉄触媒を使った通常の CCVD 法の改良によって確立できた。今後、量産法に向けて可能性が開拓された[4]。DWCNT 精製法として他に C_{60} を単層 CNT に内包させた Nano-Peapod を熱処理して C_{60} 同士を融合させ DWCNT へ構造変化させる方法があるが、コスト的に問題がある。物性的には、Peapod 由来 DWCNT は 2200℃付近の熱処理でチューブ構造が大きく変化するのに対して、CCVD 由来の DWCNT は 2400℃において直径が増大するが構造は保たれており、両者の熱安定性の差異は興味深い。最近 DWCNT 内に Mo 原子を 1 次元に並べて原子ワイヤーを形成することに成功している[5]。白金原子も同様にチューブ内に 1 次元に整列させることが可能である。これまで単層 CNT や多層 CNT（MWCNT）に鉄やニッケルなどの金属またはその酸化物等を直径数 nm のナノロッドとして内包させた報告はあるが、金属原子を比較的細い内径のチューブ内に 1 次元に並べた点にブレークスルーがあり、電子、触媒、磁性等の新機能性付与の観点で期待が拡大している。また、現在までに

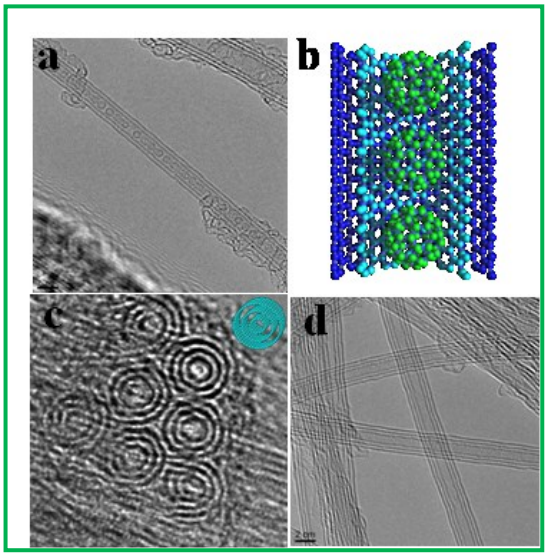

図２　(a) 2 層 CNT-Peapods の TEM 像および（b）その構造モデル。(c)(d)加熱処理により得られた 3 層 CNT[6]　H. Muramatsu, D. Shimamoto, T. Hayashi, Y. A. Kim, M. Terrones, M. Endo., M. S. Dresselhaus, Bulk Synthesis of Narrow Diameter and Highly Crystalline Triple-Walled Carbon Nanotubes by Coalescing Fullerene Peapods, Adv. Mater., 23(15), 1761 (2011).

選択的に 3 層 CNT を合成した報告例は見当たらないが、その純粋な物理化学特性を測定するためのサンプル合成法の開発が待たれていた。そこで我々は当グループ固有の DWCNT に C_{60} を内包させた DWCNT-Peapod を合成し、それに熱処理を施すことにより 3 層 CNT の高純度合成に成功している[6]（図２）。合成したサンプルの TEM による構造解析や Raman 分光分析や蛍光分析から最内層の構造が明らかとされている。さらに高純度合成法を開発すれば 3 層そして多層 CNT の性質の違い、多層性の起源など興味深い研究に発展する可能性がある。また CNT の層数による物性の相違解明といった体系的な研究に発展することが期待される。

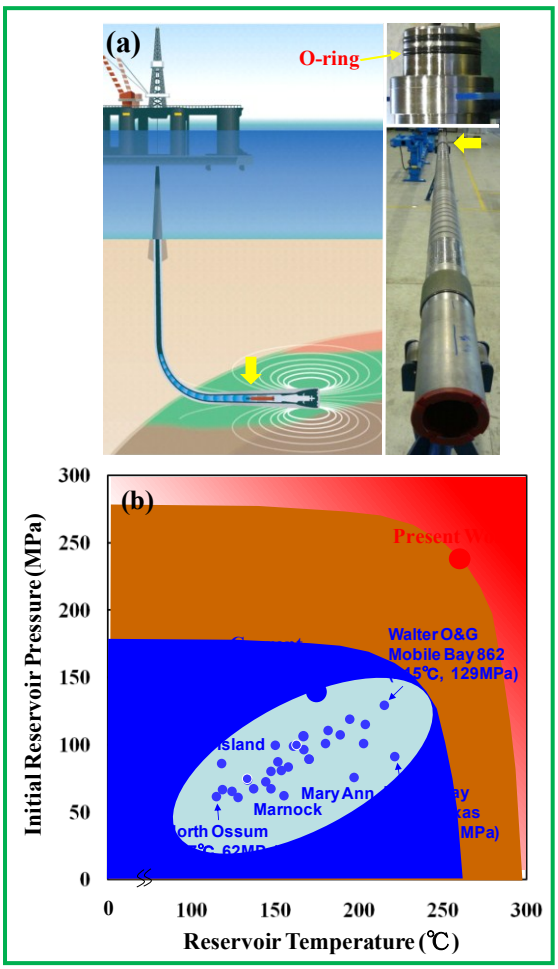

図３　(a)CNT を用いた O-ring と石油探査の概要図、(b)現在の油田（青マル）における温度と圧力の関係と CNT／ゴム複合材によるシール材の達成値 (260℃, 239MPa) [10]　M. Endo, T. Noguchi, M. Ito, K. Takeuchi, T. Hayashi, Y.A. Kim, T. Wanibuchi, H. Jinnai, M. Terrones, M.S. Dresselhaus, Extreme-Performance Rubber Nanocomposites for and Probing Excavating Deep Oil Resources Using Multi-Walled Carbon Nanotubes Adv. Func. Mat. 18, 3403 (2008).

３．CNT の応用と安全性

特に多層 CNT は大量合成され市場展開が進んでいる [2]。CNT の特長を発揮した用途開拓はその機械的性能の反映が最初であり、混練プロセスを経ても CNT の形状が維持される特長は従来の炭素繊維（CF）には無い性質で、各種複合材に電気、熱伝導性などの機能賦与が可能となる。実用的にはまず MWCNT は、リチウムイオン電池（LIB）電極添加剤として市場実績を積んでいる [7]。LIB はモバイルエレクトロニクス用途拡大に合わせ急進しているが、殊にプラグインハイブリッド自動車への LIB の採用も本格化する趨勢にあって、その重要度を増している。また樹脂複合材は半導体製造用コンテナーなどで有望性が高まっている。CF 複合材料には無い機能発現で特長を出しており、今後、自動車部品での発展も期待されている。Al や Mg[8]等の低融点金属との複合材料も強度、熱伝導性等で特長が発揮され、Ti 複合金属なども実用化が検討されている。また細い多層や２層、単層 CNT を用いた透明導電フィルム [9]の実用化の期待は特に大きい。さらに石油探査・採掘向けに表面改質を施した多層 CNT をフィラーに用いて CNT 本来の物性に加えてフッ素ゴム（FKM）界面相並びに立体構造の制御すなわち新開発のセルレーション技術（CNT フィラーを細胞のセルのように FKM マトリックスを包み込む構造で配置させる）によって、現行の 175℃、140 MPa（標準仕様）のシール性能を、260℃、239 MPa の革新的耐久性を有する超高性能ゴムシール材（CNT／FKM 複合材）の開発に成功している（図３）[10]。なお、実際に新開発シール材を用いて過酷な環境下であるメキシコ湾と北海の海底油田において実証実験に成功し、超高温・超高圧油井での応用に可能性を拓いた。

今後、CNTは21世紀の素材開発のモデルとしても重要であり、安全性・毒性の徹底した評価、それに基づく社会受容の増進は最も重要である[11-14]。欧米での広範な研究[15-18]、そして日本で進められたNEDO中西プロジェクト（2006.6～2011.3）での本格的な安全性評価研究の報告書も出された所である[19]。CNT材料技術の開発は、“Safety for Success”の概念のもと、“責任ある製造 と応用”の行動理念で最終処理まで含めた正しいリスク管理とその遵守を基本 としなければならない。より完全な安全性・毒性の確立に向けて 国際的に統一された評価基準が整えられかつ共有され、その上で応用開発が一 層進展することが基本となる。社会的に受容さ

れるリスク評価が確立されるまでは、マウスの腹腔内投与実験による悪性中皮腫発生の論文もあるように、当然のことながら全てのプロセスで細心の注意を払う必要がある。実際の商業化 に際しても、ライフサイクルアセスメントの下で責任ある製造、応用、流通、 廃棄の徹底的な実践が必須である。予防的アプローチ（Precautionary Approachあるいは Control Banding）を前提とした科学・技術研究と産業振興を推進する先導的モデルにしなければならない。CNTのリスクとベネフィットが正しく理解されて全てのStakeholderが関与し、開かれた議論、情報公開を通じて社会受容が増進され、社会合意の上でCNTによるSafe and Green Innovationを科学技術の分野を越えて進めていく必要がある。 Safety for Successと言われるように、安全性評価を着実に進めることが成功に繋がる。CNTの科学と技術が、21世紀型の材料開発のモデルにしなければならない。

４．今後の展望

CCVD 法は CNT のみならずグラフェンなどの他のナノカーボンの生成にも適しており、低コスト、高純度で量産可能で、構造制御も容易であることから将来に亘って大いに利用される手法である。今後、CCVD 法によって、カイラリティーの精緻な制御、長尺化および飛躍的な生成効率の達成、革新的応用を創出する応用基礎科学、また社会受容を増進する安全性評価研究の完成、そして安全な CNT 構造の開発等がさらに進展することを期待したい。それによって CNT はじめナノカーボンは電子デバイス、先進家電、自動車、住宅、環境、宇宙航空、エネルギーさらにはナノバイオ技術分野を中心に、世界規模での 21 世紀グリーンイノベーションに貢献できよう。CNT の基礎科学、応用基礎、安全性・毒性評価そして予防的アプローチおよびリスク管理と、これまで広範な分野で知見が蓄積されてきている。“Safety for Success“の概念のもと CNT グリーンイノベーションを実現するため、基礎科学と応用そして安全性・毒性評価とそれを踏まえた完全な管理手法の確立、倫理の遵守など、広範かつ総合的展開がますます重要になってきている。

最後に本研究を進めるに当たりご協力いただいた共同研究者の林卓哉、金隆岩、竹内健司、村松寛之、島本太介、朴基哲、藤重雅嗣の各位に感謝の意を表する。

＜参考文献＞

1. A. Oberlin, M. Endo, T. Koyama, *J. Cryst. Growth* **32**,335 (1976).
2. M. Endo, *Chemtech*, 568 (1988).
3. M. Endo *et al.*, *J. Phys. Chem. Solids* **54**, 1841 (1993).
4. M. Endo, *et al.*, *Nature* **433**, 476 (2005).
5. H. Muramatsu *et al.*, Nano Lett. **8,** 237 (2008).
6. H. Muramatsu *et al.*, *Adv. Mater.*, **23(15)**, 1761 (2011).
7. M. Endo, *et al.*, *Carbon* **39**, 1287 (2001).
8. Y. Shimizu *et al.*, *Scripta Materialia* **58**, 267 (2008).
9. Y. C. Jung *et al.*, *Adv. Mater.* **20**, 4509 (2008).
10. M. Endo *et al.*, *Adv. Func. Mat.* **18**, 3403 (2008).
11. 平成 18 年度経済産業省委託調査報告書「平成 18 年度超微細技術開発産業発掘戦略調査（ナノテクノロジーの研究・製造現場における適切な管理手法に関する調査研究）報告書」平成 19 年 3 月
12. 厚生労働省・経済産業省・環境省「ナノ安全性」三省合同説明会資料（平成 21 年 5 月 19 日）
13. ナノマテリアルに対するばく露防止等のための予防的対応について、平成 21 年 3 月 31 日（基発第 0331011 号）厚生労働省労働基準局
14. A. Takagi *et al.*, *J. Toxicol. Sci.* **33**, 105 (2008).
15. EPA, “Nanotechnology White Paper”, February 2007.
16. C. A. Poland *et al.*, *Nature Nanotechnology* **3**, 423 (2008).
17. Toxicology Topics: Developing Safe Products Using Nanotechnology , Society of Toxicology (2010). http://www.toxicology.org/gp/toxtopics.asp
18. D. W. Porter et al., *Toxicology* **269**, 136 (2010).
19. ナノリスク評価書ーカーボンナノチューブ（CNT）ー最終報告版:2011.81.17，NEDO プロジェクト（P06041），「ナノ粒子特性評価手法の研究開発」

（本稿は著者のこれまでの既発表資料等を基に再構成したものであることを付記いたします。）

Basic Science and Applications of Nanocarbons for Green Innovation

Endo, M.

2S04

環境中のウラン同位体に関する研究

（広島大院理）坂口 綾

環境中のウラン(U)は、地球上に普遍的に存在すること、数種の同位体(U-234, 235, 238)を有し、系列･物理的半減期･起源の違いなどによりその挙動が異なることから、これら事象を十分に把握することで有用な地球科学的プロキシになると考えられる。また、U は核エネルギー資源として利用価値がある一方、その使用により放射性廃棄物を生じ、長半減期･系列核種であるがゆえに放射能汚染は長期にわたり残留する。そのため、環境中での U 挙動に関する研究は分野を問わず重要視されている。

これまで我々は、琵琶湖、河口湖、ロシア･バイカル湖、モンゴル･フブスグル湖の湖底堆積物を用いた短期･長期気候変動復元に関する研究において、天然放射性系列核種 U-234、U-238、Th-230、Th-232 組成を組み合わせて利用することにより、疑似アイソクロンによる堆積物の年代測定や U 同位体のパレオマーカーとしての利用を提案してきた(Sakaguchi et al., 2004, 2006, 2009a)。

さらに、上記のように地球科学的ツールとして、または汚染物質として一般的に認識されてきた環境中の U 同位体 U-234, 235, 238 に、最近の同位体測定技術の発達に伴い注目されている U-236 を、新規に“環境中の U 同位体”の一つに加え、新たな知見からの環境科学的研究を最終的な目的とし、放射化学的手法を用いて研究を行っている。

表層環境中の U-236 (半減期 2.342×10^{7} 年)は、①天然の核反応 ^{235}U(n,γ) および ^{238}U(n,3n)による生成②劣化 U や核関連施設周辺の U 汚染③グローバルフォールアウト Pu-240 のα壊変による生成④グローバルフォールアウトにより直接降下したものの主に 4 つの起源がある。これまで、欧米諸国において U-236 は燃焼ウラン汚染のフィンガープリントとして利用されてきた。しかし、グローバルフォールアウト核種としての地上への降下量や、他の代表的なグローバルフォールアウト放射性核種も併せた、環境中での核種組成や挙動に関する研究はなかった。今後、測定技術の発展により U-236 測定およびこれを利用した研究がますます増えるであろうことが予想される。その研究推進のためには、グローバルフォールアウト U-236 の詳細な研究は、必須である。これに着目し、まずグローバルフォールアウト U-236 を他の代表的な人工放射性核種も併せて降下量や組成、土壌中での挙動について明らかにした。試料は、核関連施設からの影響がない国内の未撹乱地数地点から採取した 30 cm 土壌コアを用いた。土壌中 ^{236}U/^{238}U 原子比および U-236 濃度範囲はそれぞれ 1.85×10^{-8}-1.09×10^{-7}、8.92×10^{8}-3.76×10^{9} (atoms/g)であった。これはインベントリーで 4.72×10^{12}-1.39×10^{13} (atoms/m^2)に相当する。U-236 深度分布は Pu-239+240 とよい相関を示し ^{236}U /$^{239+240}$Pu 比は $(1.56\pm0.10)\times10^{11}$ (atoms/Bq)であった。これら測定結果と全グローバルフォールアウト Pu-239+240 (14PBq)から、グローバルフォールアウトとして全世界にばらまかれた U-236 は約 900 kg と見積もられた。このように、低い濃度の表層土壌中 U-236 測定から核施設などによる燃焼 U 汚染を評価する際には、グローバルフォールアウト U-236 の影響も考慮することが重要であると示唆された。

現在、環境中 U-236 測定の応用として、地球表層でのウラン挙動解明、海洋トレーサーとしての利用や、広島原爆黒い雨に関する研究への利用を試みている。

Study on the environmental uranium isotope

SAKAGUCHI, A.

世界化学年 2011 企画
特別シンポジウム講演要旨
9 月 21 日（水）

2S01〜2S03：S 会場（ホール）

2S01

福島原発事故の経緯と現状

（京大原子炉 [1]）○山名　元 [1]

軽水炉として世界最悪の事故となった、福島第一原子力発電所の事故の経緯を振り返り、事故発生後 5 カ月の現状と、今後の中長期的な展望について報告する。

2011 年 3 月 11 日 14 時 16 分に地震が発生した際、福島第一原子力発電所 1 号機、2 号機、3 号機が定格運転中であり、4 号機、5 号機、6 号機は定期検査中であった。地震によって稼働中の原子炉は停止したが、送電線の倒壊による外部電源 6 回線の全喪失と、遅れて到来した、想定高さの 2 倍以上の津波による 11 台の非常用発電機の停止によって、長期に亘る全交流電源喪失という事態に至った。併せて、津波による海水ポンプの故障により、1～3 号機においては炉心の残留熱冷却が出来なくなり、炉心内水位の低下によって、炉心溶融と原子炉貫通が発生した。また、高温の被覆管と水蒸気の反応（ジルコニウム―水反応）に伴って発生した水素ガスが、原子炉建屋上部に移動して爆発し、1 号機、3 号機および 4 号機の建屋のオペレーションフロア部が大破した。また、2 号機では、水素爆発と推定される事象によって、圧力抑制室が破損したと見られている。この結果、格納容器から漏出した放射性物質が、特に、3 月 14 日以降に環境中に放出された。放出された主な放射性核種の量は、原子力安全保安院により、^{131}I について 1.6 X 10^{17}Bq、^{137}Cs について 1.5 X 10^{16}Bq と推定されている（原子力安全委員会は、別途、3 月 11 日から 4 月 5 日までの分として、ヨウ素131約1.5×10^{17}ベクレル、セシウム137約1.2×10^{16}ベクレルと推定している）。残留熱除去系の機能喪失に対して、炉心への海水注入とそれに続く淡水注入による炉心冷却が行われた。しかしながら、注水された水が汚染水となって建屋内に漏出し、その一部が海水中に漏出する結果となり、海洋にも総量として約 1.5 X 10^{11}Bq が放出されたと見られている。大気への放射性 Cs や I の放出により、福島県をはじめとする広域の汚染広域や多くの住民の被ばくなどを引き起こした。広域の汚染を生じた核種は、主に、過酷事故時に揮発性を示す核種である I、Cs、Te であるが、発電所の西 7km の土壌の分析では(表)微量の Sr 及び Pu が検出されている。

福島第一発電所20km圏内での土壌中核種濃度分析結果の例

Bq/kg	双葉郡双葉町大字山田（西約7km）5月1日
Sr-89	13
Sr-90	2.5
I-131	7200
Cs-134	5000
Cs-136	87
Cs-137	5000
Te-129m	7300
U-234	5.2
U-235	0.22
U-238	5.9
Pu-238	ＮＤ
Pu-239/240	0.02

外部からの注水による炉心の冷却が、約 4 カ月近く行われたが、1 号機、2 号機、3 号機では、格納容器や原子炉建屋とタービン建屋間の密閉性が失われており、約 12 万トンの冷却水がタービン建屋に汚染水として漏えいした。この漏洩のため、圧力容器及び格納容器の冠水が実施できず、また、建屋内に人が近づけない事態に至ったため、汚染水から放射性物質及び塩分を除去する施設を緊急的に設置し、これを用いて汚染水から放射性物質を除去した上で再び炉心に注水するという「循環注水冷却」が実施され、現在は、この方法により炉心の冷却

が行われている。

オペレーションフロア部が大破した 1 号機、3 号機および 4 号機では、建屋上部に設置されている使用済燃料プールの冷却機能が喪失し、緊急的に、建屋上部からの注水による冠水の維持が図られた。この結果、使用済燃料の大規模な破損は免れ、現在は、仮設の循環冷却系により安定な冷却が行われている。1 号機、3 号機では、プール内に瓦礫が入るなどの問題はあるものの、使用済燃料の大規模な破損にまでは至っていない可能性が高く、現在は、仮設の空冷式の循環システムによる冷却への切り替えが行われ、安定な冷却が実施出来ている。事故の発生から暫定的な収束に至る過程については、「原子力安全に関するＩＡＥＡ閣僚会議に対する日本国政府の報告書（平成 23 年 6 月、原子力災害対策本部）」に詳しい。

原子炉の修復作業は、Step-1、Step-2 の２つのステップにより進められている。Step-1 では、炉心の安定的な冷却の確立が目標とされ、循環注水冷却の確立、炉心への窒素ガスの充てんなどの実施によって、この目標は 7 月 19 日に達成された。現在、Step-2 の途上にあり、汚染水の低減や、より安定的な循環冷却の確立に向けての作業が進んでいる。Step-2 の終了目標時期は、2012 年の 1 月末とされており、この目標時期までに、炉心を冷温停止状態に持ち込む事が計画されている。

来年 1 月末に期待される Step-2 の終了後の中長期的な対策について検討するため、原子力委員会に「中長期措置検討専門部会（座長：筆者）」が設置された。この専門部会において、破損した建屋の措置や、炉心内の破損燃料（デブリ）の取り出し、使用済燃料の取り出しと保管、などの様々な中長期的措置についての検討が開始されている。最終的に福島第一発電所を廃止に持ち込むためには、炉内の観察、デブリの性状の分析、高度な遠隔装置の開発、回収容器や保管、等、様々な研究開発を進めた上で、総合的な取り組みが必要とされる。

Fukushima Daiichi NPP Accident, details of accident event and current status
YAMANA, H.

2S02

放射性物質の環境での挙動と飲食物への移行

（学習院大）○村松康行

福島第１原子力発電所の事故により放出された主な放射性物質（放射性核種）は、キセノン133（半減期：5.2日）、ヨウ素131（８.０日）、セシウム134（2.1年）、セシウム137（30年）などである。このうち、キセノン133の放出量は多かったため空間線量を高める効果があったが、希ガスであり反応性が乏しいので農作物や土壌を汚染することはなかった。

食品の汚染で問題になったのは、初期においてはヨウ素131であった。この核種は、ガス状で存在するため、大気中で拡散して広がりやすく、また、植物の葉面に吸着しやすい。そのため、葉もの野菜を中心に暫定規制値である2000Bq/kgを超える値が検出された。また、ミルク中の濃度も高くなり、更に、水道水でも暫定規制値である300Bq/kgを超える値が福島県において検出された。しかし、半減期は短いため時間経過に伴い、濃度は減少した。

一方、放射性セシウムは、セシウム134と137がほぼ同じくらい放出され、ともに半減期が長いので、汚染は今後長く続くことが予想され、土壌から農作物への移行が懸念されている。現在のところ、土壌中では9割以上が表層5cmまでに留まっている。農産物における放射性セシウムの規制値は500Bq/kgである。主食であるコメに関しては、4月初旬に作付の制限値が農水省より発表された。これは、過去において核実験などで降ってきた放射性セシウムの土壌と米の分析データなどを基にして、土壌―米の移行係数を最高でも0.1と見積もり決めた値である。つまり、土壌中の濃度が5000 Bq/kgであれば作付しても米（玄米）の値はその10分の１（0.1倍）以下であり、500 Bq/kgを超える可能性は少ない。

農産物で放射性セシウムの規制値を超えたものは、山菜、キノコ、お茶、タケノコ、ウメ、ビワなどがあげられる。セシウムは田んぼや畑など粘土質に富んだ土壌には固定され易く植物に吸収され難いが、有機物に富んだ森林土壌では動きやすいため、森で採れる山菜やキノコには高い値が観察されている。特に、キノコはセシウムを選択的に吸収し易いものが多いので、汚染が高い地域においては、注意が必要である。

お茶に関しては、5月に神奈川県産の新茶で高い値が検出された。新芽が出てきたときには、大気への放出は収まっていたので、はじめは、土壌から取り込まれたものと考えられた。しかし、お茶の木やそこの土壌における放射性セシウムの分布を調べてみると、根から吸収されたのではなく、古い葉に沈着したものが新芽に移行（転流）したと考えられる。

果物に関しては、土壌から根を通じた移行は少ないが、事故時に葉が出ていたもの（ビワ）や花を咲かせていたもの（ウメ）で放射性セシウムの規制値を超えるケースが見られた。また、樹皮に付着した放射性セシウムが果実へ転流する現象も認められたが、実が大きくなるにつれて濃度が下がり、サクランボ、モモなどでは規制値を大幅に下回っている。

飲料水中の放射性セシウムはほとんど検出できないレベルである。これは、セシウムは土壌に吸着され易く地下にしみ込みにくいことに関係している。川の中では泥などの粒子に吸着され堆積物に移行する。また、浄水場でも沈殿し易く、水道水にも入ってきにくい。

海産物については海水で薄められるため、今のところ大型の魚などでは高い値が出されていない。しかし、魚の成育環境が汚染されると今後高いものも出てくる可能性も否定できないので、検査体制を充実させる必要があろう。

その他放出された核種として放射性ストロンチウムが挙げられるが、土壌中の分析データがいくつか出されているが、濃度的には非常に低い。

ここでは、事故により放出された放射性核種の環境における挙動と農産物等への移行のメカニズムなどについて、福島で得られた最新のデータも含め述べる。

Behavior of radionuclides in the environment and their transfer to foodstuffs.

○Y. Muramatsu (Gakushuin Univ.)

2S03

放射線の生体への影響～福島原発事故のリスクを理解するために～

（放医研・防護セ・発達期[1]）○今岡　達彦[1]

史上第２の規模の原子力事故となった東京電力福島第一原発事故。この事故では、大量の核分裂生成物が放出されたが、その放射線の影響による健康への不安は、被災地域の方々のみならず、日本中あるいは海外にも広く起こっている。放射線は、電離作用を通して細胞内の DNA に損傷（特に二重鎖切断と呼ばれる損傷）を与える。細胞には DNA の損傷を修復する能力があるため、きちんと修復されれば細胞には影響は起こらない。しかしそうでない場合は、細胞の死、あるいは間違って修復することによる突然変異が生じる。組織内の一定以上の細胞が死んでしまうと、組織の機能不全によるさまざまな症状が現れる。組織に当たった放射線が十分少なければ、症状は現れない。一方、突然変異は、理論上、どんなに少量の放射線によっても、それに応じた頻度で発生すると考えられる。「がん」は突然変異を原因として発生する病気であり、たくさんの突然変異が発生すれば「がん」の発生する確率も高くなると考えられる。放射線の量が少ない場合、たった一つの突然変異でも「がん」の原因になりうると考えると、「放射線の量がこれ以下であれば、『がん』の発生はまったく増加しない」という“安全量”は存在しないことになる。人体において、どれだけの放射線が「がん」の確率をどれだけ高めるのかは、人間が不幸にして放射線にさらされた実例をもとに調査されている。現在もっとも信頼性の高い調査は、広島・長崎の原爆被爆者の追跡調査である。これまでの解析によると、30 歳で 1 シーベルトを被ばくした場合のがんリスクは被ばくしない場合の約 1.5 倍（すなわち 0.5 倍分の増加）で、その増加の程度は線量が低いほど小さくなる。しかし 100 ミリシーベルト以下での影響の有無は、統計学的な限界のために確認できない。原爆被爆は放射線をかなり短い時間のうちに受けた事例であるが、今回の事故はゆっくりと長い時間をかけて被ばくする状況であり、がんリスクはさらに低くなる可能性がある。放射線以外のがんの原因や死亡原因と比べても、それほど高いリスクではないだろう。ただし今回の状況では、医療で受けるレントゲンや CT 検査と違い、何の利益もなく強制的に放射線を浴びせられるので、被ばくを減らすためのいろいろな対策を考えなければならない。

本講演では、放射線の生体影響について、その機構から人体影響までを一般の人にもわかりやすいように述べ、この事故による健康への影響について考える一助としたい。

Biological effect of radiation: basis for understanding the risk of Fukushima Nuclear Accident

IMAOKA, Tatsuhiko