

研究資料 (Research record)

森林生態系における樹木・木材・土壌・渓流水の放射性セシウム動態調査法の利用ガイド

高橋 正通^{1)*}、梶本 卓也²⁾、高野 勉³⁾、池田 重人⁴⁾、小林 政広⁵⁾

要旨

福島原子力発電所事故に伴う森林の放射能汚染状況を調査するため、チェルノブイリ原子力発電所の事故後の汚染影響に関する研究経過や調査手法をレビューした。チェルノブイリの放射能汚染の影響は現在まで長期化しており、毎年多くの有用な報告が出ているが、欧州と日本とは気象条件、動植物相や土壌の状況が異なるので、福島の実地の現場における調査が重要であること、また、森林や木材中の放射性セシウム動態の長期モニタリングでは、調査対象や目的にあった適切な方法の選択や既存情報との連携が広域評価や将来予測に重要であることを議論した。

キーワード：チェルノブイリ原発事故影響、放射能汚染状況モニタリング調査法、森林の放射性セシウム動態、東京電力株式会社福島第一原子力発電所事故、東日本大震災

1. はじめに

2011年3月の東日本大震災をきっかけに発生した(株)東京電力福島第一原子力発電所の事故により、東日本の広い範囲に放射性物質が拡散し、降雨により森林にも沈着した(図1)。事故当初、半減期8日と短い放射性ヨウ素131の沈着も確認されたが(Kato et al. 2012)、森林生態系や木材への影響を把握する場合、半減期の長い放射性物質、とくに半減期約30年のセシウム137の動態と影響を監視する必要がある。実際、1986年のチェルノブイリ事故後の経過をみると、ヨーロッパ各地に拡散した放射性物質が農業や畜産業、野生のきのこ類などへ及ぼした影響は長期化し、食品安全上のモニタリングは現在も継続されている(木村ら2011)。また、チェルノブイリ事故後20周年目には国際原子力研究機構(IAEA)による大規模な研究レビューが行われ、報告書が出版されている(IAEA 2006)。また、最近になっても多くの論文発表や図書の出版が行われている(例えば、Zhiyanski et al. 2010, Gjelsvik and Steinnes 2013)。

このように、チェルノブイリ原発事故の歴史や福島原発事故の世界的な注目度(Brumfiel and Fuyuno 2012)から考えると、研究成果の積極的な公表と長期的なモニタリングが望まれる。長期モニタリングには、適切な調査方法の選択が重要であり、調査者の経験による詳細な解

説なども有効である。これにより、モニタリング体制の継続につながるだけでなく、調査実施機関以外の研究者が調査データを解析することにも役立ち、情報の共有につながる。

森林総合研究所では、事故直後から調査地の選定をすすめ、保安林における伐採許可等調査実施に必要な諸手続を行って、森林生態系や木材への影響に関わる総合的な調査や解析を進めてきた(金子ら2012; Akama et al. 2013; 金子ら2013; Hasegawa et al. 2013; Hashimoto et al. 2013; Kiyono and Akama 2013; Kuroda et al. 2013; 根田2013; 高橋2013a, b; 外崎2013; 鈴木ら2014)。この特集では、森林総合研究所の長期モニタリングサイト(図2)で実施している調査のうち、森林内の放射性セシウム分布や蓄積量変化(Kuroda et al. 2013; 林野庁2012, 2013, 2014; 高橋2013a, b)、流域から流出する放射性物質(森林総合研究所2012a, 2012b, 2012c)の定量法について解説する。これらの方法は、短期的な放射性セシウム動態よりも、長期の変化を把握することを目的に準備したものである。日本の多くの森林に適用可能な方法であるが、岩屑地や高山など特殊な森林や土壌の場合は改変が必要な場合がある。しかしながら、本方法を参考にしつつ現場の状況に応じて利用できるものと考えている。

原稿受付：平成26年7月9日 原稿受理：平成26年7月31日

1) 森林総合研究所研究コーディネータ

2) 森林総合研究所植物生態研究領域

3) 森林総合研究所木材特性研究領域

4) 森林総合研究所立地環境研究領域

5) 森林総合研究所企画部

* 森林総合研究所研究コーディネータ 〒305-8687 茨城県つくば市松の里1

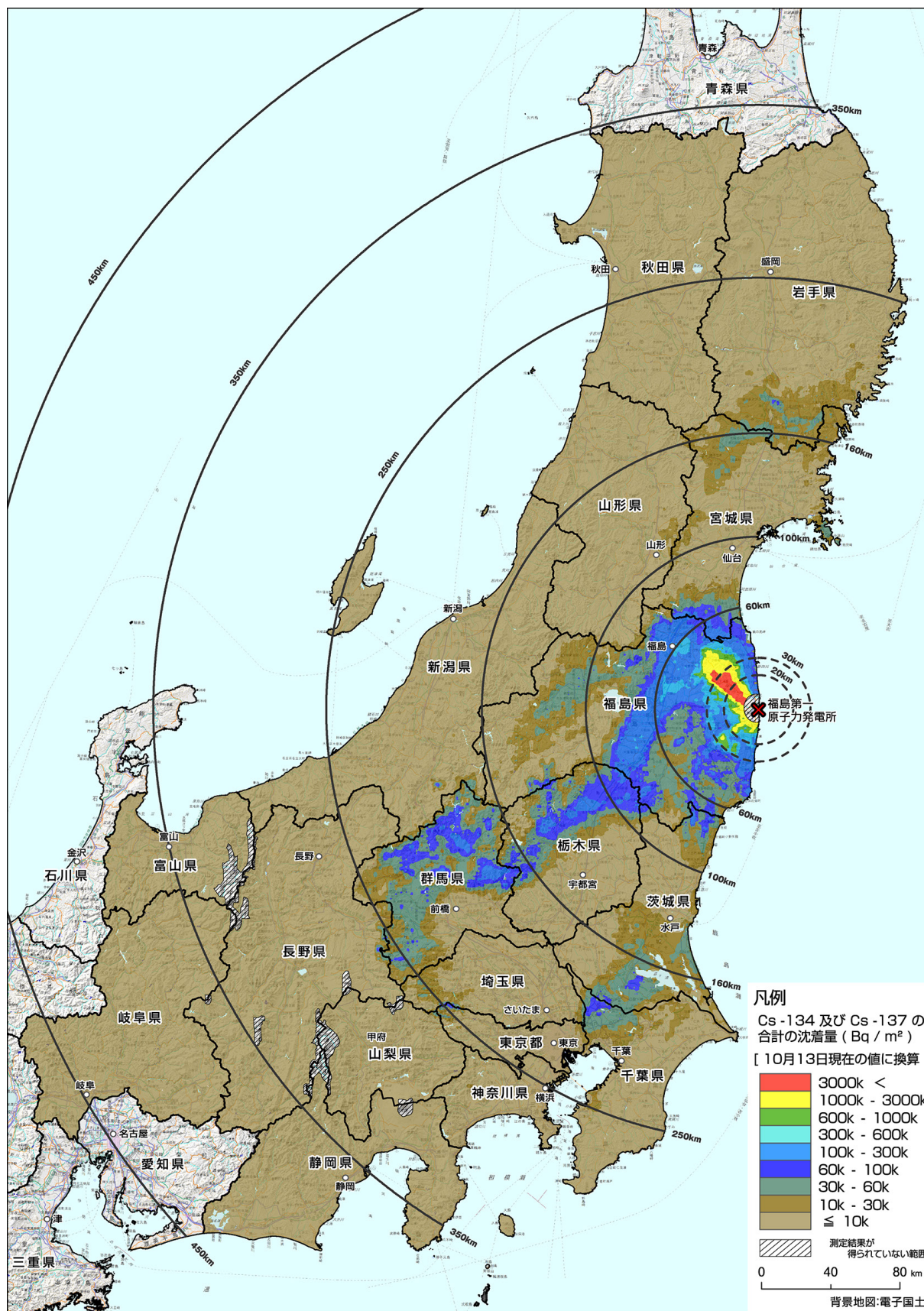


図 1. 東日本の放射性セシウム沈着量マップ (2011 年 10 月 13 日換算)。
文部科学省航空機モニタリングによる結果 (林野庁を通じて文部科学省から許可済み)

Fig. 1. Radioactive cesium deposition map for eastern Japan acquired in an airborne-monitoring survey by the Japanese Ministry of Education, Culture, Sports, Science and Technology (MEXT). (Converted on October 13, 2011. Use permitted by MEXT) Number of ambrosia beetles captures at Takatori-yama Preservation Forest.

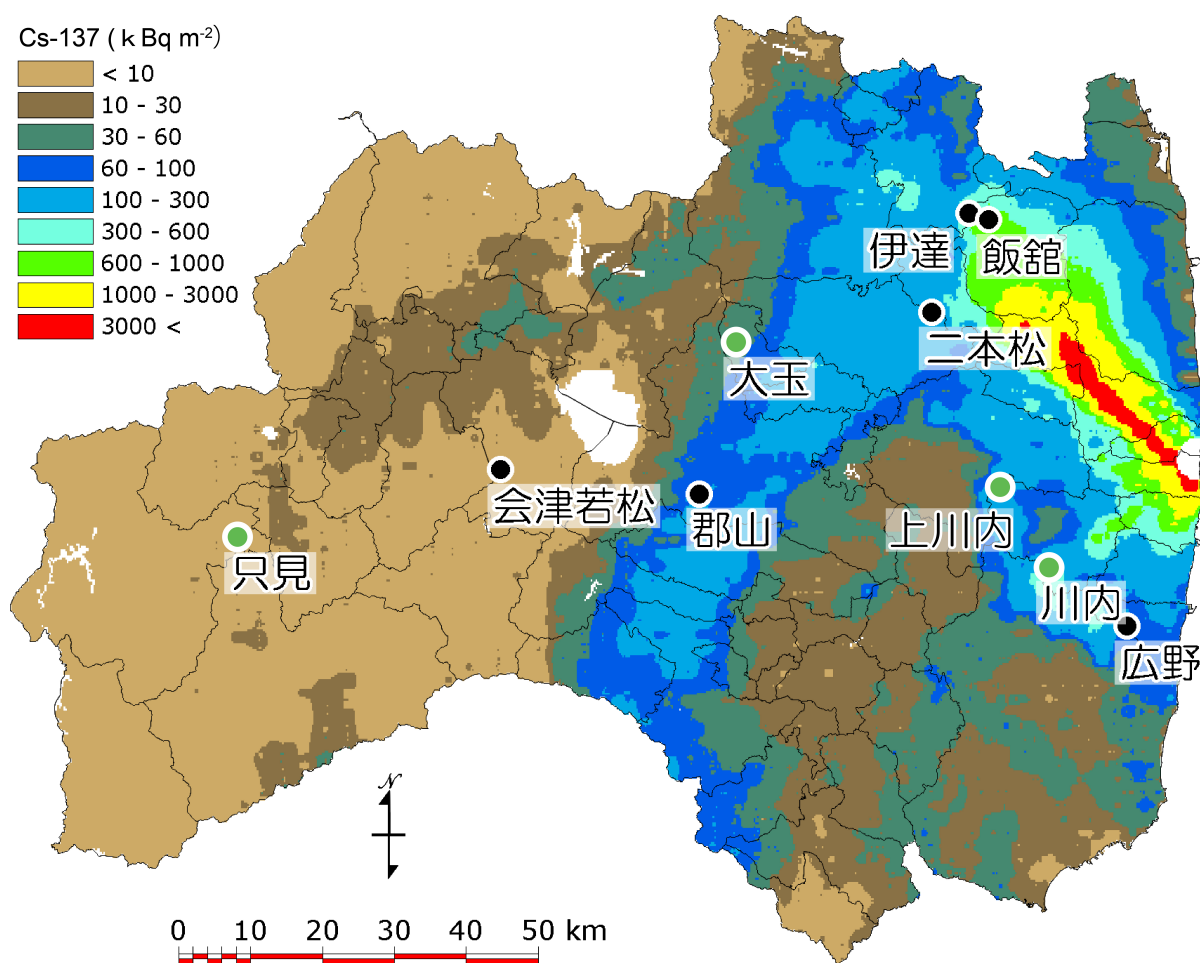


図2. 森林総合研究所の長期モニタリングサイト（緑色の点）と渓流水の調査サイト（黒色の点）。文部科学省（2014）第5次航空機モニタリング（2012年6月28日換算値）による放射性セシウム137の沈着量マップ上に図示した。

Fig. 2. Long-term monitoring sites (green dots) and streamwater monitoring sites (black dots) used by the FFPRI research groups in Fukushima Prefecture. The background map is the deposition map of radioactive cesium-137, according to the fifth airborne monitoring survey by MEXT. (Converted on June 28, 2012)

2. 森林における放射能調査

物質の挙動を研究するトレーサーとしての放射性核種の利用を除くと、わが国の森林における放射能汚染の調査例は少ないが、1945年に広島や長崎へ投下された原子爆弾による影響を木材の年輪中の放射性核種から確認した Kudo et al. (1993) や Kagawa et al. (2002) の研究がある。大気圏核実験によるグローバルフォールアウトを利用した研究は世界中で行われているが、わが国でも野生きのこによる放射性セシウムの吸収を測定した研究 (Yoshida and Muramatsu 1994) やヒノキ林における土壌流亡の研究に適用されている (Fukuyama et al. 2005)。

森林の放射能関連の調査は研究対象や目的によってさまざまな方法で行われており、世界で標準化されたような特別な調査手法はない。チェルノブイリ原子力発電所事故の影響を強くうけたノルウェー、フィンランド、スウェーデンなどの北欧諸国では、森林における放射性物質の調査を方法書としてまとめている (Aro et al. 2009)。ただし、この方法書は放射性物質に特化したというよ

り、北欧における通常の森林資源や土壌の調査を中心に、放射能関係に拡大した仕様である。同様に、環境動態研究への放射性物質利用法について、一般的な調査方法に放射能測定法を追加したような形式の書物も多くみうけられる (例えば、Zapata 2002)。

放射能影響についての調査方法を基準化することは、世界各国のデータの比較に有効であり、今後、国際機関などの下で各国の研究者による議論が必要かもしれない。しかしながら、すでに森林資源調査や土壌調査では世界共通で使われている調査マニュアルが多く存在し、データの集約も進んでいる (FAO and JRC 2012 など)。わが国でも森林資源や森林土壌の情報は全国レベルで集約され利用されるようになってきており (高橋・森貞 2008; Nishizono et al. 2014)、これらと組み合わせて面的な評価につなげることも可能であろう (Hashimoto et al. 2013)。放射性物質のように限られた目的の数少ない調査を地域や全国レベルの情報に敷衍するためには、これら既存の情報との整合性にも留意すべきである。

3. 日本の自然環境の特殊性

福島で緊急調査をはじめる前に、チェルノブイリ事故の影響を調べた論文や報告書を広く検索し、欧州における森林の放射性物質動態の概要を把握した。しかし、自然環境における放射性物質動態は、土壌の種類や樹種の違い、気候条件によって異なるといわれている(山口ら 2012)。欧州やロシア西部の森林と日本を比べると、日本の気候は温暖で多雨であり、森林分布域の地形は一般的に急峻である(金子ら 2014)。また、森林における放射性セシウムの動態は放射性セシウムを強く固定する土壌の性質が最も強く影響を及ぼすとされる。日本の土壌分布をみると、褐色森林土が最も広く分布し、また火山灰の混入の影響も見られるので、土壌と放射性セシウムとの関係は欧州とは異なると考えられる(Fujii et al. 2014)。欧州ではポドゾルや泥炭土など強酸性土壌や水分に富む有機質土壌の分布も広い(IUSS Working Group WRB 2007)。樹木の種類も異なり、チェルノブイリ事故影響の調査林分はマツ属、トウヒ属、カバノキ属などの調査例が多いが(Calmon et al., 2009)、日本の主要な造林木であるスギやヒノキへの影響については全く未知である。このように、森林や土壌、気候条件が大きく異なるので欧州の調査結果を参考にしつつも、安易な推測や予断は許されないと考えている。

4. おわりに

本特集では、森林総合研究所で採用した森林内部の放射性セシウム蓄積量分布に関する調査方法と森林流域から渓流水を通じて流出する放射性物質の調査方法を示した。ここで紹介する調査方法は通常の森林の蓄積量調査や物質循環調査で採用されている方法を基本に、事故で上空から飛来した放射性セシウムの沈着経路やセシウムの化学的特性、森林という異質性の高い研究対象等を考慮して決めた方法である。ただし、2011年の調査は限られた調査人員と時間の制約の中で、複数の調査地を設定しながら試料を採取するなど緊急対応であったため、精密な調査項目は省略せざるをえなかった面がある。その後の追加的な調査で情報を補足してきたが、調査方法の簡略化や項目の優先度の付け方がなどは緊急時の重要な判断事項といえる。ここで示した方法は最適といえないかもしれないが、森林の放射性物質やその循環を調査する目的のためには、基礎的な情報を十分把握できると考えている。本調査方法を参考に、調査チームの創意工夫しながら利用していただければ幸いである。

謝辞

本研究は林野庁委託事業「森林内における放射性物質実態把握調査事業」、農林水産技術会議事務局委託プロジェクト「農地・森林等の放射性物質の除去・低減技術の開発」、森林総合研究所交付金プロジェクト「森林・林業・木材における放射線影響に関する基礎研究(課題

番号 201205)」により実施した。森林総合研究所の金子真司氏、赤間亮夫氏には日頃から調査方法の検討、成果の取りまとめ、情報収集などに助言いただいております、ここに謝意を表する。

引用文献

- Akama, A., Kiyono, Y., Kanazashi, T., and Shichi, K. (2013) Survey of radioactive contamination of sugi (*Cryptomeria japonica* D. Don) shoots and male flowers in Fukushima prefecture. *Jpn. J. For. Environ.* 55 (2), 105-111.
- Aro, L., Plamboeck, A.H., Rantavaara, A., Strålberg, E., and Vetikko, V. (2009) "Sampling in forests for radionuclide analysis – General and practical guidance", NKS-183, ISBN 978-87-7893-249-5, Roskilde, Denmark. 48pp.
- Brumfiel, G. and Fuyuno, I. (2012) Japan's nuclear crisis: Fukushima's legacy of fear. *Nature*, 483, 138-140.
- Calmon, P., Thiry, Y., Zibold, G., Rantavaara, A., and Fesenko, S. (2009) Transfer parameter values in temperate forest ecosystems: a review. *J. Environ. Radioact.*, 100(9), 757-766.
- FAO and JRC. (2012) Global forest land-use change 1990–2005, by E.J. Lindquist, R. D'Annunzio, A. Gerrand, K. MacDicken, F. Achard, R. Beuchle, A. Brink, H.D. Eva, P. Mayaux, J. San-Miguel-Ayanz & H-J. Stibig. FAO Forestry Paper No. 169. Food and Agriculture Organization of the United Nations and European Commission Joint Research Centre. Rome, FAO.
- Fujii, K., Ikeda, S., Akama, A., Komatsu, M., Takahashi, M., and Kaneko, S. (2014) Vertical migration of radiocesium and clay mineral composition in five forest soils contaminated by the Fukushima nuclear accident, *Soil Sci. and Plant Nutr.* (2014), DOI:10.1080/00380768.2014.926781
- Fukuyama, T., Takenaka, C., and Onda, Y. (2005) ¹³⁷Cs loss via soil erosion from a mountainous headwater catchment in central Japan. *Sci. Total Environ.*, 350(1), 238-247.
- Gjelsvik, R., and Steinnes, E. (2013). Geographical trends in ¹³⁷Cs fallout from the Chernobyl accident and leaching from natural surface soil in Norway. *J. Environ. Radioact.*, 126, 99-103.
- Hasegawa, M., Ito, M., Kaneko, S., Kiyono, Y., Ikeda, S., and Makino, S. (2013) Radiocesium concentrations in epigeic earthworms at various distances from the Fukushima Nuclear Power Plant 6 months after the 2011 accident. *J. Environ. Radioact.* 126, 8-13.
- Hashimoto, S., Matsuura, T., Nanko, N., Linkov, I., Shaw, G., and Kaneko, S. (2013) Predicted spatio-temporal dynamics of radiocesium deposited onto forests following the Fukushima nuclear accident. *Scientific Reports*, 3, 2564, DOI: 10.1038/srep02564.

- IAEA 2006. “*Environmental Consequences of the Chernobyl Accident and their Remediation: Twenty Years of Experience*”. Report of the Chernobyl Forum Expert Group ‘Environment’, Radiological Assessment Reports Series, IAEA, Vienna. 166pp.
- IUSS Working Group WRB (2007) World Reference Base for Soil Resources 2006, first update 2007. World Soil Resources Reports No. 103. FAO, Rome.
- Kagawa, A., Aoki, T., Okada, N., and Katayama, Y. (2002). Tree-ring strontium-90 and cesium-137 as potential indicators of radioactive pollution. *J. Environ. Qual.* 31(6), 2001-2007.
- 金子真司・外崎真理雄・清野嘉之・池田重人・黒田克史・田中浩・川崎達郎・齋藤哲・梶本卓也・阿部真・杉田久志・矢崎健一・太田敬之・三浦覚・大貫靖浩・阪田匡司・篠宮佳樹 (2012) 東京電力福島原子力発電所事故による森林放射能汚染の実態調査. 関東森林研究 63-(1), 97-100.
- 金子真司・池田重人・赤間亮夫・三浦覚・高橋正通 (2013) 福島第一原発事故による森林放射能汚染調査地の土壌理化学性. 森林立地 55, 75-81.
- 金子真司・高橋正通・池田重人・赤間亮夫 (2014) 福島原発事故による森林生態系における放射性セシウム汚染とその動態, 日土肥誌, 85(2), 86-89
- Kato, H., Onda, Y., and Teramage M. 2012. Depth distribution of 137Cs, 134Cs, and 131I in soil profile after Fukushima Dai-ichi Nuclear Power Plant Accident. *J. Environ. Radioact.*, **111**, 59-64
- 木村圭介, 藤沼賢司, 森内理江, 小沢秀樹, 牛山博文 (2011) 輸入食品中の放射能濃度 (平成 22 年度) 東京健安研七年報, 62, 199-203
- Kiyono, Y., and Akama, A. (2013) Radioactive cesium contamination of edible wild plants after the accident at the Fukushima Daiichi Nuclear Power Plant. *Jpn. J. For. Environ.*, **55**, 113-118.
- Kudo, A., Suzuki, T., Santry, D. C., Mahara, Y., Miyahara, S., and Garrec, J. P. (1993). Effectiveness of tree rings for recording Pu history at Nagasaki, Japan. *J. Environ. Radioact.* 21(1), 55-63.
- Kuroda, K., Kagawa, A., and Tonosaki, M. (2013). Radiocesium concentrations in the bark, sapwood and heartwood of three tree species collected at Fukushima forests half a year after the Fukushima Dai-ichi nuclear accident. *J. Environ. Radioact.*, **122**, 37-42
- 根田 仁 (2013) 栽培きのこの放射性セシウム吸収を抑制するために. 特産情報 2013.9, 8-12.
- Nishizono, T., Kitahara, F., Iehara, T., and Mitsuda, Y. (2014) Geographical variation in age-height relationships for dominant trees in Japanese cedar (*Cryptomeria japonica* D. Don) forests in Japan. *J. For. Res.*, **19**(3), 305-316.
- 林野庁 (2012) “森林内の放射性物質の分布状況調査結果について(第二報)”, 林野庁平成 2 年 12 月 27 日発表, http://www.rinya.maff.go.jp/j/press/hozen/111227_2.html
- 林野庁 (2013) “森林内の放射性物質の分布状況調査結果について”, 平成 25 年 3 月 29 日発表, <http://www.rinya.maff.go.jp/j/press/kenho/130329.html>
- 林野庁 (2014) “森林内の放射性物質の分布状況調査結果について”, 平成 26 年 4 月 1 日発表, http://www.rinya.maff.go.jp/j/press/ken_sidou/140401.html
- 森林総合研究所 (2012a) “融雪期における渓流水中の放射性物質の観測結果”, 平成 24 年 6 月 12 日発表, <http://www.ffpri.affrc.go.jp/press/2012/20120612/index.html>
- 森林総合研究所 (2012b) “梅雨期における渓流水中の放射性物質の観測結果”, 平成 24 年 9 月 21 日発表, <http://www.ffpri.affrc.go.jp/press/2012/20120921/index.html>
- 森林総合研究所 (2012c) “8 ~ 10 月における渓流水中の放射性物質の観測結果”, 平成 24 年 12 月 20 日発表, <http://www.ffpri.affrc.go.jp/press/2012/20121220/index.html>
- 鈴木養樹・黒田克史・高野勉・張春花・鈴木敏和・高田真志 (2014) 表面汚染密度による樹木放射能濃度簡易推定手法の開発. 木材学会誌 60(1), 9-15.
- 高橋正通 (2013a) 福島原発事故による放射能汚染と森林・木材, 学術の動向 2013.6, 68-71.
- 高橋正通 (2013b) 森林の放射能汚染と除染, 日本応用地質学会平成 25 年度特別講演およびシンポジウム予稿集. 7-12.
- 高橋正通・森貞和仁 (2008) 森林土壌の炭素蓄積量の全国調査. 日土肥誌, 79(1), 109-111.
- 外崎真理雄 (2013) 木材への放射性セシウム移行と安全な木製品利用. 学術の動向 2013.6, 80-81.
- 山口紀子・高田裕介・林健太郎・石川 寛・倉俣正人・江口定夫・吉川省子・坂口 敦・朝田 景・和頼朗太・牧野知之・赤羽幾子・平舘俊太郎 (2012) 土壌一植物系における放射性セシウムの挙動とその変動要因. 農環研報 **31**, 75-129
- Yoshida, S. and Muramatsu, Y. (1994) Accumulation of radiocesium in basidiomycetes collected from Japanese forests. *Sci. Total Environ.*, **157**, 197-205.
- Zapata, F. (ed.) (2002) “*Handbook for the assessment of soil erosion and sedimentation using environmental radionuclides*” (Vol. 219). Dordrecht/Boston/London: Kluwer Academic Publishers.
- Zhiyanski, M., Sokolovska, M., Bech, J., Clouvas, A., Penev, I., and Badulin, V. (2010) Cesium-137 contamination of oak (*Quercus petrae* Liebl.) from sub-mediterranean zone in South Bulgaria. *Journal of Environ. Radioact.* 101(10), 864-868.

Guidance for methods assessing radiocesium dynamics in tree, wood, soil and stream water in forest ecosystems

Masamichi TAKAHASHI ^{1)*}, Takuya KAJIMOTO ²⁾, Tsutomu TAKANO ³⁾,
Shigeto IKEDA ⁴⁾ and Masahiro KOBAYASHI ⁵⁾

Abstract

We reviewed the research published since the Chernobyl nuclear power plant accident to help us investigate the effects of radioactive cesium contamination in forest ecosystem and in wood material in Fukushima Prefecture caused by the Tokyo Electric Power Company (TEPCO) Fukushima Daiichi nuclear power plant accident in March 2011. There are still effects from radioactive cesium contamination in forests affected by the Chernobyl accident, and several reports are still published each year. Although valuable information can be found in these reports, actual measurements should be made in the Fukushima area because the natural conditions in the Fukushima and Chernobyl area are very different in terms of parameters such as climate conditions, the predominant floral and faunal species in the affected forests and soil types. We also discuss the importance of the selection of appropriate monitoring methods for the target area and research goals. Exploiting the information available on the effects of the Chernobyl and Fukushima accidents is important to allow us to extrapolate the limited information available to a wide area assessment and a future prediction.

Key words : Chernobyl nuclear power plant accident, Monitoring methods for nuclear contaminated environment, Radioactive cesium dynamics in forest ecosystems, TEPCO Fukushima Daiichi Nuclear Power Plant accident, Tohoku-oki earthquake 2011

Received 9 July 2014, Accepted 31 July 2014

1) Principal Research Coordinator, Forestry and Forest Products Research Institute (FFPRI)

2) Department of Plant Ecology, FFPRI

3) Department of Wood Properties, FFPRI

4) Department of Forest Site Environment, FFPRI

5) Research Planning and Coordination Department, FFPRI

* Principal Research Coordinator, FFPRI, Matsunosato 1, Tsukuba, Ibaraki 305-8687, Japan; e-mail: masamiti@ffpri.affrc.go.jp