

恩田裕一

筑波大学(アイソトープ環境動態研究センター)・教授

荒廃人工林の管理により流量増加と河川環境の改善を図る革新的な技術の開発

## §1. 研究実施体制

### (1)「筑波大」グループ

- ①研究代表者: 恩田 裕一 (筑波大学・アイソトープ環境動態研究センター, 教授)
- ②研究項目
  - ・総括および同位体を用いた水循環プロセスの解明

### (2)「九州大」グループ

- ①主たる共同研究者: 大槻 恭一 (九州大学・農学研究院, 教授)
- ②研究項目
  - ・間伐による蒸発散量・水流出量の変化

### (3)「名古屋大」グループ

- ①主たる共同研究者: 竹中 千里 (名古屋大学・大学院生命農学研究科, 教授)
- ②研究項目
  - ・水資源の利用効率を最大化する森林管理手法の開発

### (4)「東大演習林」グループ

- ①主たる共同研究者: 蔵治 光一郎 (東京大学・大学院農学生命科学研究科附属演習林, 准教授)
- ②研究項目
  - ・愛知フィールドにおける間伐による水・土砂流出の変化

### (5)「農工大」グループ

- ①主たる共同研究者: 五味 高志 (東京農工大学・共生科学技術研究院, 准教授)

②研究項目

- ・森林管理, 特に作業道と間伐による水・土砂流出の変化の観測

(6)「京都大」グループ

- ①主たる共同研究者:小杉 賢一朗 (京都大学・大学院農学研究科, 准教授)

②研究項目

- ・三重サイトにおける水土砂流出の観測, 土壌水分モデリング

(7)「鳥取大」グループ

- ①主たる共同研究者:芳賀 弘和 (鳥取大学・農学部, 准教授)

②研究項目

- ・水環境評価

(8)「三重林研」グループ

- ①主たる共同研究者:野々田 稔郎 (三重県林業研究所・森林環境研究課, 主幹研究員)

②研究項目

- ・水資源の利用効率を最大化する森林管理手法の開発

## § 2. 研究実施内容

(文中に番号がある場合は(3-1)に対応する)

大規模伐採前後の試験流域の水文特性を定量化するために、すべての研究サイトにおいて、各水文素過程の観測を行った。本年度までにすべてのサイトで本数で 50%の間伐が完了し、間伐前後の降雨流出素過程と遮断蒸発率の観測を行った。遮断プロットにおいては樹冠通過

雨および樹幹流を観測し、樹冠遮断量を算出した。さらに、斜面プロットにおいては、大規模な降雨にともなう表面流出量および土砂流出量を計測した。また、栃木サイト、福岡サイトでは、グラニエ法(Granier, 1987)を用いた樹液流の測定に基づく蒸散量の推定と、雨量計を併用した水収支法によって、蒸散量、遮断蒸発量をより詳細に観測した。本年度の観測によって、試験流域における強度間伐後の水文データが蓄積された。

水流出機構をトレースし、地下水涵養プロセスの推定を行うために、上記の観測項目について水サンプルを採取し(降雨イベントごと、あるいは月 1 回の頻度)、筑波大学陸域環境センターにおいて、イオンクロマトグラフとレーザー式質量分析装置を用いて、水質および安定同位体分析を行った。また、自動採水器を用いて出水時の渓流水を採取し、水質、栄養塩、濁質成分の定量分析を行った。さらに、濁質成分の土砂流出起源の推定を行うために、井戸型Geガンマ線検出器を用いて土壌と土砂の Cs-137 と Pb-210 濃度を測定した。

栃木サイトでは、作業道開設があり列状間伐を行った場合と、作業道を開設せず点状間伐を行った場合を比較して、林内雨の変化、地下水涵養量の変化について観測を進めた。また、平成 23 年度に実施した列状間伐の流域では、その流出変化などから影響評価を行い、間伐後の流量や濁度の増加を確認した。しかし、他のサイトでは、間伐後に明瞭な流量増加がみられない流域もあり、間伐後の流出量の変化については今後も検討が必要であることが示唆された。また、間伐による作業道の開設が濁質成分の流出を生じさせる可能性があるため、来年度は作業道からの流出観測と防止策の検討を行う予定である。



図1 調査流域



図2 観測方法

遮断プロットにおける観測の結果、福岡、高知、愛知、栃木サイトのいずれのサイトにおいても、間伐後に林内雨量が増加し、樹冠流量、遮断蒸発量が減少する傾向がみられた。また、福岡サイト、栃木サイトにおける蒸散量観測の結果、総林分蒸散量はいずれも間伐後に減少する傾向がみられた。

モデリング解析の準備として、フィールド観測や総合解析で得られた GIS を用いた地形解析、水文モデルによる現象の再現および、森林間伐による水文素過程の変化、流出量の変化、将来的な森林管理手法と水流出予測を行うための研究について、先行データのある三重サイトを用いて、SWAT モデルを用いた解析を進めた<sup>9)</sup>。土壌水分モデルについては、間伐によって林外雨が直接林床に供給されたり、樹冠通過雨や樹幹流の空間分布に変化が生ずる影響を直接評価できるように改良を加えた。また、樹木根系による土壌水分の吸引を、各メッシュの深さ毎に与えることが出来るよう改良を加え、間伐に伴う蒸散量の変化を評価できるようにした。この改良モデルを用いて、斜面プロットスケールの降雨浸透・表面流発生に間伐施業が与える影響を試算した。また、三重サイト、九州サイトの観測データを用いて、間伐による河川水の溶存物質濃度の変化を水の流出経路に基づいて推定するモデルの開発を進めた。

水源利用効率を最大化させる持続可能な森林管理技術の開発を目的として、航空機 LiDAR による林内光環境推定モデルの汎用性検証を行った。愛知サイト内のヒノキ人工林を対象林分として、LiDAR データによる指標値(透過率:%)で汎用的に林内相対照度を推定可能であることを確認した。また、波形記録式航空機 LiDAR による波形観測データ(SDF 形式)を詳細に解析することにより、林床状態の推定可能性について検討した。間伐後の下層植生の侵入・生育過程に影響が考えられる林内光環境について、愛知サイト及び三重県総門地区内のヒノキ人工林において検討した。間伐後(間伐率約 50%)における間伐後の相対照度は、愛知サイトでは 11%程度、総門サイトでは 35%程度であり、本数間伐率では、汎用的に得られる光環境の改善効果を推定することは困難であることが示唆された。間伐後の下層植生回復におけるシカ柵の効果を検討した結果、シカ柵区は対象区(シカ柵なし)と比べ、下層植生被度は測定期間を通じて高かった。しかし、下層植生被度は間伐後2年においても、試験区全体を覆うまでには至っておらず、継続調査を行う必要がある。さらに、森林整備に関する補助事業等の概要について調査したほか、間伐後の林冠閉鎖度の変化を予測するモデルを作成した。

福島第一原発事故による人工林の放射能汚染状況の把握のため、福島県伊達郡川俣町に新規に福島サイトを設置し、月 1 回程度の頻度で林外雨、林内雨、樹幹流、リター等の観測を行い、人工林における放射能汚染物質の移行調査を行った。スギ林と広葉樹混交林の高さ別の葉の放射性セシウム濃度を計測した結果、<sup>137</sup>Cs 計数率は、スギ林については、樹冠上部で時間経過とともに減少する傾向が明瞭であったが、樹冠下部ではほとんど変化が無いが、やや増加傾向を示す場所があった。このことから、樹冠に吸着された放射性セシウムは、時間とともに樹冠中を下方へ移動し、林床に移行していることが示唆された。

### §3. 成果発表等

#### (3-1) 原著論文発表

##### ●論文詳細情報

1. Tesfaye, T., Onda, Y., Kato, H., Wakiyama, Y., Mizugaki, S. and Hiramatsu, S., (2013) The relationship of soil organic carbon to  $^{210}\text{Pb}$  and  $^{137}\text{Cs}$  during surface soil erosion in a hillslope forested environment., *Geoderma*, **192**, 59-67. (DOI: 10.1016/j.geoderma.2012.08.030)
2. 五味 高志, 宮田 秀介, Sidle Roy C., 小杉 賢一朗, 恩田 裕一, 平岡真合乃, 古市剛久 (2013) 分布型流出モデルを用いたヒノキ人工林流域における地表流の発生と降雨流出解析, 日本森林学会誌, **95**, 23-31.
3. Chiwa, M., Onikura, N., Ide, J., and Kume, A.. (2012) Impact of N-Saturated Upland Forests on Downstream N Pollution in the Tatara River Basin, Japan, *Ecosystems*, **15**, 230-241. (DOI: 10.1007/s10021-011-9505-z)
4. Cho, J., Oki, T., Yeh, P J F., Kim, W., Kanae, S. and Otsuki, K. (2012) On the relationship between the Bowen ratio and the near-surface air temperature, *Theoretical and Applied Climatology*, **108**, 135-145. (DOI:10.1007/s00704-011-0520-y)
5. Cooper, J.R., Wainwright, J., Parsons, A.J., Onda, Y., Fukuwara, T., Obana, E., Kitchener, B., Long, E.J. and Hargrave, G.H. (2012) A New Approach for Simulating the Redistribution of Soil Particles by Water Erosion: a Marker-in-Cell Model., *J. Geophys. Res.* (DOI:10.1029/2012JF002499)
6. Dercon, G., Mabit, L., Hancock, G., Nguyen, M.L., Dornhofer, P., Bacchi, O.O.S., Benmansour, M., Bernard, C., Froehlich, W., Golosov, V.N., Hacıyakupoglu, S., Hai, P.S., Klik, A., Li, Y., Lobb, D.A., Onda, Y., Popam, N., Rafiq, M., Ritchie, J.C., Schuller, P., Shakhashiro, A., Wallbrink, P., Walling, D.E., Zapata F. and Zhang, X. (2012) Fallout radionuclide-based techniques for assessing the impact of soil conservation measures on erosion control and soil quality: an overview of the main lessons learnt under an FAO/IAEA Coordinated Research Project, *Journal of Environmental Radioactivity*, **107**, 78-85. (DOI:10.1016/j.jenvrad.2012.01.008)
7. 土肥和貴, 田中延亮, 蔵治光一郎 (2012) 過密ヒノキ人工林の間伐が樹冠遮断量に及ぼす影響の観測と解析, 中部森林研究, **60**, 133-136.
8. Dung, B. X., Gomi, T., Miyata, S. and Sidle, R. C., (2012) Peak flow responses and recession flow characteristics after thinning of Japanese cypress forest in a headwater catchment, *Hydrological Research Letters*, **6**, 25-40. (DOI:

- org/10.3178/hr1.6.35)
9. Dung, B. X., Gomi, T., Miyata, S., Sidle, R. C., Kosugi, K. and Onda, Y., Runoff responses to forest thinning at plot and catchment scales in a headwater catchment draining Japanese cypress forest, *Journal of Hydrology*, **444-445**, 51-62. (DOI: 10.1016/j.jhydrol.2012.03.040)
  10. Guo, L., Chen, Y., Zhang, Z. and Fukushima, T. (2012) N: P stoichiometry in a forested runoff during storm events: Comparisons with regions and vegetation types, *The Scientific World Journal*, **2012**, 8 pages. (DOI: 10.1100/2012/257392)
  11. Ide, J., Chiwa, M., Higashi, N., Maruno, R., Mori, Y., and Otsuki, K. (2012) Determining storm sampling requirements for improving precision of annual load estimates of nutrients from a small forested watershed, *Environmental Monitoring and Assessment*, **184**(8), 4747-4762.
  12. 糸数哲, 小杉賢一郎, 恩田裕一, 蔵治光一郎, 田中延亮, 後藤太成, 太田岳史, 水山高久 (2013) 通常降雨イベントにより同定されたタンクモデルを用いた豪雨イベントの再現精度, *水文・水資源学会誌*, **26**, 85-98.
  13. Kato, H., Onda, Y. and Gomi, T. (2012) Interception of the Fukushima reactor accident-derived <sup>137</sup>Cs, <sup>134</sup>Cs and <sup>131</sup>I by coniferous forest canopies. *Geophysical Research Letters*. (DOI:10.1029/2012GL052928)
  14. Komatsu, H., Onozawa, Y., Kume, T., Tsuruta, K., Shinohara, Y. and Otsuki, K. (2012) Canopy conductance for a Moso bamboo (*Phyllostachys pubescens*) forest in western Japan, *Agricultural and Forest Meteorology*, **156**, 111-120. (DOI:10.1016/j.agrformet.2012.01.004)
  15. Komatsu, H., Cho, J., Matsumoto K. and Otsuki, K. (2012) Simple modeling of the global variation in annual forest evapotranspiration, *Journal of Hydrology*, **420-421**, 380-390. (DOI:10.1016/j.jhydrol.2011.12.030)
  16. 小松光, 篠原慶規, 大槻恭一 (2013) 管理放棄人工林は洪水を助長するか, *水利科学*, **329**, 68-90.
  17. 小杉賢一郎, 木下篤彦, 藤本将光, 水山高久, 三道義己 (2012) 地形に依存した雨水流動追跡に基づく表層崩壊発生予測の問題点, *砂防学会誌*, **65**, 27-38.
  18. Kume, T., Otsuki, K., Du, S., Yamanaka, N., Wang, Y.L. and Liu, G.B., (2012) Spatial variation in sap flow velocity in semiarid region trees: its impact on stand-scale transpiration estimates, *Hydrological Processes*, **26**, 1161-1168. (DOI: 10.1002/hyp.8205)
  19. Leach, J. A., Moore, R. D., Hinch, S. G. and Gomi, T. (2012) Estimation of forest harvesting-induced stream temperature changes and bioenergetic consequences for cutthroat trout in a coastal stream in British Columbia, Canada, *Aquatic Sciences*

- 74, 427-441. (DOI: 10.1007/s00027-011-0238-z)
20. 真下和彦, 横田宏行, 岡山和生, 榎 朗, 平岡 透, 磯部裕介, 恩田裕一, 末次忠司(2012) 航空レーザー測量データを用いた地形解析による内水浸水想定区域設定手法の開発. 地形, **33**, 281-295.
  21. Shinohara, Y., Tsuruta, K., Ogura, A., Noto, F., Komatsu, H., Otsuki, K. and Maruyama, T. (2013) Azimuthal and radial variations in sap flux density and effects on stand-scale transpiration estimates in a Japanese cedar forest, *Tree Physiology* (accepted).
  22. Tanaka, K., Iwatani, H., Sakaguchi, A., Takahashi, Y. and Onda, Y.(2012) Local distribution of radioactivity in tree leaves contaminated by fallout of the radionuclides emitted from the Fukushima Daiichi Nuclear Power Plant. *J Radioanal Nucl Chem.* (DOI:10.1007/s10967-012-2192-1)
  23. 鶴田健二, 久米朋宣, 小松光, 大槻恭一 (2012) 福岡演習林におけるヒノキの辺材面積と葉面積, 九州大学農学部演習林報告, **93**, 12-16.
  24. Hiraoka, M. and Onda, Y., (2012) Factors affecting the infiltration capacity in bamboo groves, *Journal of Forest Research*, **17**, 403-412. (DOI 10.1007/s10310-011-0311-4)
  25. Kato, H., Onda, Y. and Tesfaye, T. (2012) Depth distribution of  $^{137}\text{Cs}$ ,  $^{134}\text{Cs}$ , and  $^{131}\text{I}$  in soil profile after Fukushima Daiichi Nuclear Power Plant Accident, *Journal of Environmental Radioactivity*, **111**, 59-64. (doi:10.1016/j.jenvrad.2011.10.003)
  26. Qin, H., Yokoyama, Y., Fan, Q., Iwatani, H., Tanaka, K., Sakaguchi, A., Kanai, Y., Zhu, J., Onda, Y. and Takahashi, Y.(2012) Investigation of cesium adsorption on soil and sediment samples from Fukushima Prefecture by sequential extraction and EXAFS technique. *Geochemical Journal*, **46**, 297- 302
  27. Sakaguchi, A., Kadokura, A., Steier, P., Tanaka, K., Takahashi, Y., Chiga, H., Matsushima, A., Nakashima, S. and Onda, Y. (2012) Isotopic determination of U, Pu and Cs in environmental waters following the Fukushima Daiichi Nuclear Power Plant accident. *Geochemical Journal*, **46**, 355-360.
  28. Shinohara Y, Komatsu H, Kuramoto K and Otsuki K. (2012) Characteristics of canopy interception loss in Moso bamboo forests of Japan. *Hydrological Processes*, (in press).
  29. Xue, B. L., Komatsu, H., Kumagai, T., Kotani, A., Otsuki, K. and Ohta, T., (2012) Interannual variation of evapotranspiration in an eastern Siberian larch forest. *Hydrological Processes*, **26**, 2360-2368. (DOI: 10.1002/hyp.9195)
  30. 山中 勤, 恩田裕 (2012) 波長スキャンキャビティリングダウン分光法を用いた水同位体分析計の測定精度について, 筑波大学陸域環境研究センター報告, **12**, 31-40.