

恩田 裕一

筑波大学生命環境系・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 研究分担グループ長: 恩田 裕一 (筑波大学・大学院生命環境科学研究科 教授) (研究代表者)
- 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 研究分担グループ長: 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 研究分担グループ長: 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
 - ・吊り下げ法による下層植生推定手法の開発
 - ・航空機 LiDAR による林内光環境推定手法の開発
 - ・航空機 LiDAR による林分下層植生状態推定手法の検討
 - ・シカ柵設置による間伐後の下層植生回復及びその生物相への影響解析
 - ・PALSAR によるヒノキ人工林の森林情報把握可能性の検討

(4)「東大演習林」グループ

- ① 研究分担グループ長: 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研究分担グループ長: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研究分担グループ長: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研究分担グループ長: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研究分担グループ長: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)

本年度は、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。すでに間伐の行われている栃木サイト、愛知サイト、高知サイトでは、昨年度に引き続き、間伐後の水・土砂流出量を、一年を通して観測した。新規流域



図1 調査流域

である栃木サイト、福岡サイトでは、本年度中に本数で 50%の間伐を行い、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。

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。また、栃木サイトでは、原発事故直後から、ス

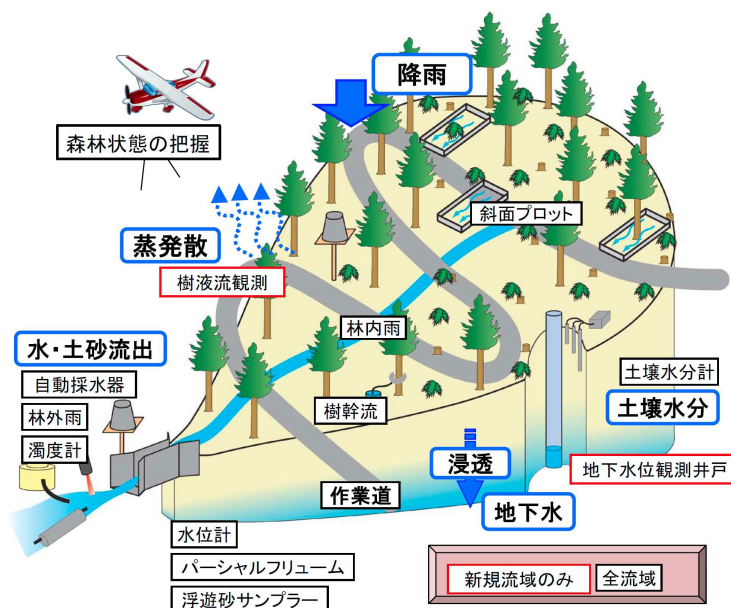


図2 観測方法

ギおよびヒノキ林において林内雨、樹幹流を降雨毎に採取し、放射性同位体分析を行った。その結果、放射性セシウムと放射性ヨウ素は、森林環境中で対照的な挙動を示すことが明らかになった。具体的には、森林に降下した放射性セシウムの大部分は樹冠にトラップされたが、放射性ヨウ素は、全降水量の4分の3が雨水とともに林床に到達したことが分かった。

栃木サイトでは、間伐後に流量が増加すること、流域内に設置された林道では顕著な地表流が発生するものの流域の洪水流出への寄与は低いことが確認された。しかし、間伐後の観測期間が一年未満であることから、これらの変化がどの程度継続するのか、来年度以降も引き続き観測を行い確認する必要がある。また、間伐の前後における、源流域における地下水の挙動および渓流水の流出特性の変動についても観測を行ったが、現時点では、間伐の前後で湧水の降雨流出特性に顕著な違いがみられるような、大規模な降雨イベントは観測されていない。引き続き継続して観測を続ける必要がある。また、すでに間伐後の観測データが蓄積されている三重サイトのデータを用いて、間伐が流域の流出量に与える影響を評価するために、流出モデルによる解析を行った。その結果、間伐後に蒸発散量が減少して、土壌水分量や基底流の流出量が増加することが分かった。愛知サイトでは、過密ヒノキ林と間伐ヒノキ林において、大型のシート雨量計を用いて樹冠遮断量を計測した結果、樹冠遮断量は開空度が大きいほど小さくなることが示された¹⁴⁾。さらに栃木サイトでは、間伐前後の林床植生の変化を明らかにするために、間伐前の林床植生の状況把握を行った。

間伐前後の流量データを基に、間伐による森林河川からの溶存物質濃度を水の流出経路に基づいて推定するモデルを開発するために、既存流域で取得済みのデータを用いてハイドログラフの成分分離を利用した流出負荷推定モデルの開発を行った。また、福岡サイトで採取した水サンプルの栄養塩分析を行った。

栃木サイトと福岡サイトでは、間伐前後の森林状態の面的把握を行うために、航空機レーザー測量データを用いて、リモートセンシング手法によって林内光環境および葉面積指数(LAI)を推定する新たな解析システムの開発を行った。その結果、評価指標とした林冠部における laser interception ratio (LIR: %)と、林内光環境の指標である canopy openness (CO:%)・sky factor (SF: %)及び葉面積指数(LAI)との間に密接な関係が認められ、LIR から林内光環境や葉面積指数をある程度推定できること、LIR の最適解析スケールは直径 15m の円形スケールであることが明らかとなった。また、同様に、航空機レーザー測量データを用いて林床状態の判定が可能かどうかを検討した。その結果、評価指標とした laser penetration ratio (LPR=100-LIR:%)と下層植生被度との関係性は弱く、有効な下層植生被度推定には更なる指標の探索・検討が必要であることが示唆された。さらに、地域スケールでの森林情報把握の可能性を検討するため、PALSAR 衛星画像を利用して後方散乱係数と林分材積および LAI との関係性を比較した。

下層植生被度の推定手法を開発するために、2 台のデジタルカメラを利用し、吊り下げ法によるステレオ撮影画像から、下層植生被度推定を行い、その推定精度について検証を行った。実測下層植生被度と本研究で開発した手法による推定下層植生被度の間には密接な関係が認められ、本手法を用いることで、従来の方法よりも簡易かつ客観的に下層植生被度の推定が可能であ

ることが明らかとなった。

三重サイトの間伐流域において、間伐後の下層植生の回復におけるシカ食害の影響測定を行った結果、下層植生へのシカ採食の影響は小さいものの、分類群構造・食性ギルド構成に影響が認められた。また、水資源利用効率を最大化し、さらに持続可能な森林管理技術を開発するために、現実林分で実施されている密度管理の現状についての調査や、密度管理の指標としての間伐率の評価を行った。

§3. 成果発表等

(3-1) 原著論文発表

- 論文詳細情報

1. Dung, B. X., Miyata, S. and Gomi, T. (2011) Effect of forest thinning on overland flow generation on hillslopes covered by Japanese cypress, *Ecohydrology*, **4**, 367–378. (DOI: 10.1002/eco.135).
2. Yamamoto, K., Takahashi, T., Miyachi, Y., Kondo, N., Morita, S., Nakao, M., Shibayama, T., Takaichi, Y., Tsuzuku M. and Murate, N. (2011) Estimation of mean tree height using small-footprint airborne LiDAR without a digital terrain model, *Journal of Forest Research*, **16**, 425-431. (DOI: 10.1007/s10310-010-0234-5)
3. Nanko, K., Onda, Y., Ito, A. and Moriwaki, H. (2011) Spatial variability of throughfall under a single tree: experimental study of rainfall amount, raindrops, and kinetic energy, *Agricultural and Forest Meteorology*, **151**, 1173-1182. (DOI:10.1016/j.agrformet.2011.04.006)
4. Miyazawa, Y., Tateishi, M., Komatsu, H., Kumagai, T. and Otsuki, K., (2011) Are measurements from excised leaves suitable for modeling diurnal patterns of gas exchange of intact leaves?, *Hydrological Processes*, **25**, 2924–2930. (DOI:10.1002/hyp.8107)
5. Xue, B., Kumagai, T., Iida, S., Nakai, T., Matsumoto, K., Komatsu, H., Otsuki, K. and Ohta, T. (2011) Influences of canopy structure and physiological traits on flux partitioning between understory and overstory in an eastern Siberian boreal larch forest, *Ecological Modelling*, **222**, 1479-1490. (DOI:10.1016/j.ecolmodel.2011.01.021)
6. Komatsu, H., Shinohara, Y., Kume, T. and Otsuki, K. (2011) Changes in peak flow with decreased forestry practices: analysis using watershed runoff data, *Journal of Environmental Management*, **92**, 1528-1536. (DOI:10.1016/j.jenvman.2011.01.010)
7. 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).
8. 鶴田健二, 小松光, 篠原慶規, 久米朋宣, 市橋隆自, 大槻恭一 (2011) 樹液流計測に基づいたスギとヒノキの林分蒸散量算定のための辺材面積推定式, *水文・水資源学会誌*, **24**, 261-270.
 9. 藏本康平, 篠原慶規, 小松光, 井手淳一郎, 大槻恭一 (2011) モウソウチク (*Phyllostachys pubescens*) 林における降雨流出過程の解明に向けてー地表流とバイオマツフローの観測ー, *水文・水資源学会誌*, **24**, 360-368.
 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. 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)
 12. 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)
 13. 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.
 14. 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.
 15. Kato, H., Onda, Y. and Tesfaye, T. (2011) Depth distribution of ¹³⁷Cs, ¹³⁴Cs, and ¹³¹I in soil profile after Fukushima Daiichi Nuclear Power Plant Accident, *Journal of Environmental Radioactivity*. (doi:10.1016/j.jenvrad.2011.10.003) (inpress)
 16. 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 Science*. (DOI: 10.1007/s00027-011-0238-z) (in press)
 17. Kobayashi, S., Gomi, T., Sidle, R. C. and Negishi, J. N. (2012) Distribution of amphipods (*Gammarus nipponensis* Ueno) among mountain headwater streams with different legacies of debris flow occurrence, *Ecohydrology*. (DOI:

- 10.1002/eco.1249) (inpress)
18. Hiraoka, M., Onda, Y., (2012) Factors affecting the infiltration capacity in bamboo groves, *Journal of Forest Research*. (DOI 10.1007/s10310-011-0311-4), (in press).
 19. 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), (in press).
 20. 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), (in press).
 21. 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), (in press).
 22. 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*, (DOI: 10.1002/hyp.9195), (in press).
 23. Dung, B. X., Gomi, T., Miyata, S. and Sidle, R. C., Peak flow responses and recession flow characteristics after thinning of Japanese cypress forest in a headwater catchment, *Hydrological Research Letters*. (accepted).
 24. 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*. (accepted).
 25. 小松光, 久米朋宣, 大槻恭一, (2012) 森林水文学を実学として機能させるために, 水利科学, (印刷中).