

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 27 年 6 月 16 日現在

機関番号：13901

研究種目：基盤研究(B)

研究期間：2012～2014

課題番号：24402003

研究課題名(和文) インドネシア・チタルム川流域における節水対策の補償に関する研究

研究課題名(英文) Study on compensation mechanism for water saving in Citarum River Basin, Indonesia

研究代表者

白川 博章 (Shirakawa, Hiroaki)

名古屋大学・環境学研究科・准教授

研究者番号：50393038

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 13,500,000円

研究成果の概要(和文)：本研究ではチタルム川流域を対象として、農業用水の節水ポテンシャルを定量的に評価し、都市から農村への節水に対する補償の可能性を検討した。その結果、水資源が不足しがちな乾季終盤において、水田作を制限することにより約9(m³/s)から14(m³/s)の水資源が下流域に供給される結果を得た。インドネシアにおける一人当たりの水使用量はおよそ180(L/day/人)であり、1(m³/s)の水でおよそ50万人が暮らせることを考えると、この節水効果は十分に大きいと考えられる。また、PESへの参加は農家の社会的なネットワークにも影響を受ける。PESが成功するためには農家のリスクを軽減することが重要である。

研究成果の概要(英文)：This study evaluates the potential of agricultural water saving, and examines the possibility of compensation for water saving from urban area to rural area. We found that at the end of the dry season when water tends to lack, if rice planting in upper stream area is stopped, the water supply to down-stream will increase from 9 (m³/s) to 14 (m³/s). The average per capita per day water consumption in Indonesia is 180 L/day/person. It means 500,000 people live with 1 (m³/s), and this is considered an enough amount of saving water. On the other hand, farmers' participation in PES program is affected by their social networks. For PES to be successful it is important to reduce the risk of small-scale farmers.

研究分野：環境経済学

キーワード：PES インドネシア 灌漑用水

1. 研究開始当初の背景

経済成長にともなう水需要の増大にともない、現在、世界の様々な地域で水資源の配分が問題になっている。インドネシアの首都ジャカルタの水資源であるチタルム川も同様である。都市部で乾期に水が不足している反面、水資源の約8割を消費している農業分野では節水対策はあまり進んでいない。これは、節水した場合、農家にとって収穫が減少する可能性があることに加え、経済的なメリットがないことが大きな原因だと考えられる。そこで、節水により農家にもたらされるリスクと都市が享受する便益が明らかになれば、節水による利益を都市から農村に還元することも可能となると考えられる。

2. 研究の目的

本研究では、チタルム川流域を対象として、農業用水の節水ポテンシャルを定量的に評価し、都市から農村への節水に対する補償（環境サービス支払い）の可能性を検討するものである。

3. 研究の方法

(1) 節水効果の検討

インドネシア国チタルム川のジャティルフルダム上流域を対象として、分布型の降雨流出モデルを適用し、乾季作における灌漑の有り無し条件におけるシナリオ分析を行った。降雨流出モデルには、地形・土地利用・土壌の空間分布が入力可能であり、世界の多くの流域で適用実績のある TOPMODEL を用いた（図1）。計算は 1km メッシュ解像度で行い、TOPMODEL ではメッシュ毎に根圏、不飽和層、飽和層の水収支が計算される（図2）。また、流域内のサグリダム、チラタダム、ジャティルフルダムといった有効貯水量 5 億 m³ 以上を有する大規模貯水施設については、それらが有する河川流量の平滑化作用を表現するためにダム貯留モデルを組み合わせた。チタルム川流域では、降水量に応じて雨季作、乾季作 1 回目、乾季作 2 回目の最大 3 回の作付けが行われる（図3）。水田メッシュにおいては、栽培期間中の維持すべき水深を 3cm に設定し、蒸発散と浸透に伴う消費水量と当該メッシュの河川流量の比較により、取水可能水量を決定した。

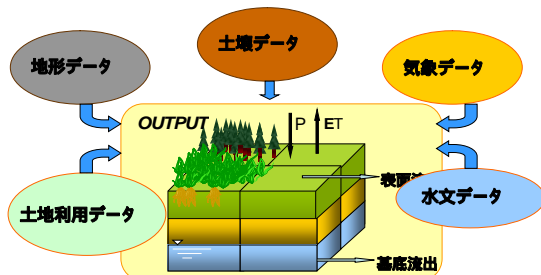


図1 分布型流出モデルの概要

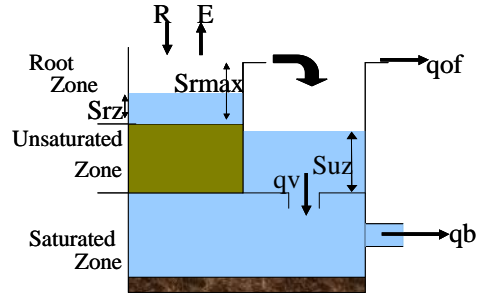


図2 TOPMODEL の構造

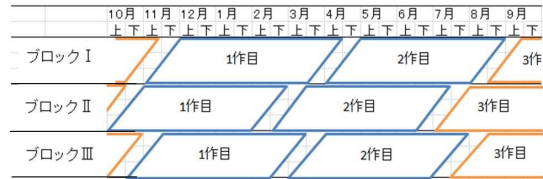


図3 水田の年間栽培スケジュール

(2) 農家の PES の受容性の検討

PES の農家の受容性については、チタルム川流域で PES が実施されている、西ジャワ州レンバン郡ステンジャヤ村において、家計調査を実施した。PES に参加している農家と参加していない農家について、耕作面積、所得、農外所得、等を比較した。

4. 研究成果

(1) 節水効果の検討

構築したモデルは 1996 ~ 2000 年の現地観測データを用いてパラメーター同定し、2001 ~ 2009 年の観測データを用いて検証を行った。図4にチラタ観測所における計算流量と観測流量の比較を示す。推定誤差は RMSE で 14.3(m³/s)、年平均流入量 161(m³/s)の 8.8% であり概ね良好な結果が得られた。

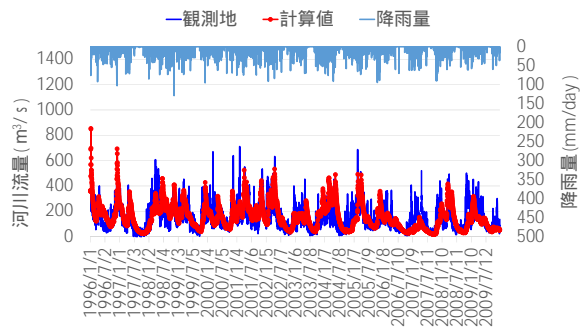


図4 チラタ観測所における検証結果

構築したモデルを用いて節水シミュレーションを行った。現地で水資源が最も不足するのは乾季終盤の 9 月または 10 月である。この時期は、水田栽培スケジュールの乾季作 2

回目(図3での3作目)に相当するため、今回の計算ではジャティルフルダム上流域の全ての水田において乾季作2回目は休耕するという条件を課し、この時期の灌漑取水の有り無し条件における河川流量の比較を行った(図5)。また、渇水年であった1997、2006、2007年における乾季作2回目の灌漑有り無し条件における最低流量の比較を表1に示す。

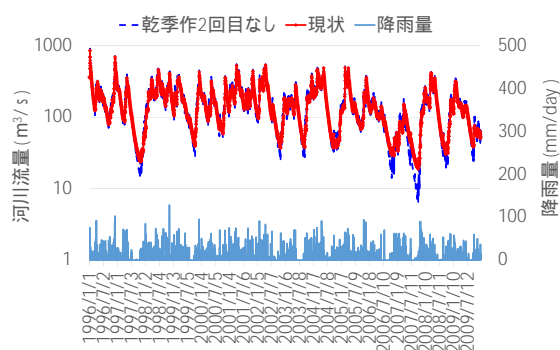


図5 節水の有無によるジャティルフルダムへの流入量の変化

表1 乾季作2回目の灌漑有り無し条件における渇水年最低流量の比較

年	灌漑あり	灌漑なし	差
1997	14.6	23.7	9.1
2006	14.2	28.7	14.5
2007	6.6	18.9	12.3

水資源が不足しがちな乾季終盤において、水田作を制限することにより約9m³/sから14m³/sの水資源が下流域に供給される結果となった。インドネシアにおける一人当たりの水使用量はおよそ180(L/day/人)であり、1(m³/s)の水でおよそ50万人が暮らせることを考えると、この節水効果は十分に大きいと考えられる。現在、ジャティルフルダムから首都ジャカルタに16(m³/s)の水が送られている。これは800万人分の生活用水に相当し、ジャカルタ上水使用の80%を供給していることになる。今回は差を明確にするため上流域の全ての水田に休耕の条件を課したが、例えば、日本におけるコメの生産調整のように、ある一定割合の減反率を各灌漑地区に割り当てることにより、乾季に1~2(m³/s)の用水を生み出すことは可能であると考えられる。その際には農家の農業収入が減少するため減収保証が必要となるが、受益者である都市住民に対して水使用量として課金することにより、上流と下流でのWin-Win関係を築くことが重要であると考えられる。

(2) 農家のPESの受容性の検討

スンテンジャヤ村においてPESプログラムに参加している農家とそうでない農家との間で、農地面積、所得、コミュニティー活動

への参加状況などにどのような違いがあるかを回帰分析(Probit model)で検討した(表2)。その結果、農地面積、所得は統計的に優位な差が見られなかったが、コミュニティー活動への参加している農家ほどPESに参加していることが分かった。農家のPESへの参加は経済的動機だけでなく社会的つながりが大きな役割を果たしていることが明らかになった。

表2 PESの参加に影響を与えている要因

VAR IABLES	(1)	(2)	(3)
Distance	-0.547*** (-4.346)	-0.649*** (-4.135)	-0.955*** (-3.322)
Irrigation p.	0.604 (1.340)	0.309 (0.640)	1.763* (1.874)
Land size	3.67e-05 (0.650)	6.07e-05 (0.986)	-6.67e-06 (-0.0624)
Income	1.95e-08 (0.143)	3.88e-08 (0.275)	-1.83e-07 (-0.505)
Dairy cattle		-1.502 (-1.322)	-2.375 (-0.537)
Beef cattle		0.255 (1.381)	-0.183 (-0.371)
Sheep & goat		-0.111 (-0.962)	-0.0873 (-0.423)
Chicken		0.0340 (0.553)	-0.189* (-1.745)
Rabbit		-0.00872 (-0.789)	0.00578 (0.381)
Social Net.			2.637*** (3.009)
Benefit commu.			0.569 (1.484)
Education			-2.071 (-1.469)
Training			-0.194 (-0.336)
Age			0.0599** (2.202)
Constant	3.398*** (3.582)	4.115*** (3.586)	3.166 (1.557)
Observations	169	167	167

5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文](計7件)

Hyoda, T., Homma, K., Shiraiwa, T., Katsura, K., Horie, T., Adaptability of high-yielding rice cultivars in relation to biomass productivity under moderately water stressed upland conditions, *Agricultural Sciences*, vol.6, pp.352-364, 2015, DOI: 10.4236/as.2015.63036 (査読有)

K. Yoshida, K. Tanaka, R. Hariya, I. Azechi, T. Iida, S. Maeda and H. Kuroda, Contribution of ICT monitoring system in Agricultural Water Management, *Proceedings of The 2nd International Conference on Serviceology*, Vol.2, pp.198-202, 2014, DOI:無(査読無)

K. Yoshida, K. Tanaka, R. Hariya, I. Azechi, T. Iida, S. Maeda and H. Kuroda, Evaluation of Automatic Irrigation System in Paddy for Water and Energy

Saving, Vol.11, pp.347-353, 2014, DOI: 無 (査読無)

Higashi O., Shiratori Y., Kitaoka T., Shirakawa H., Zero Emission System for Sustainable Agriculture in Asia, Proceedings of 9th IWA International Symposium on Water Management, Problems in Agro-Industries, Vol.II, pp.212-217, 2014, DOI:無 (査読有)

田中健二・吉田貢士・前田滋哉・黒田久雄, メコン川流域における栄養塩排出原単位および河川水中の栄養塩濃度の推定, 土木学会論文集 B 1 (水工学), Vol.70, No.4, pp.1_277-282, 2014, DOI:無 (査読有)

Homma, K., Sigit, G., Handarto, Maki, M., Hongo, C., Yoshida, K., Oki, K., Shirakawa, H., Shiraiwa, T., Hara, R., Kambayashi, M., Hirooka, Y., Iwamoto, H., Evaluation of the nutritional environment for rice in Cianjur, Indonesia, for development of an advanced basin model for Asia, Proc. the 7th Asian Crop Science Conference. Improving Food, Energy and Environment with Better Crops, pp. 96-100, 2013, DOI:無 (査読無)

K. Yoshida., I. AZECHI and H. KURODA, Application of two layer heat balance model for calculation of paddy thermal condition, Journal of Japan Society of Civil Engineers, Vol.69, No.4, pp.139-144, 2013. DOI: 10.2208/jscejhe.69.1_139 (査読有)

[学会発表] (計 31 件)

遠藤 尚・沖一雄・白川博章, 西ジャワ州チタルム川流域における農業および農村社会の変動, 2015 年度東北地理学会春季学術大会, 2015 年 5 月 16-17, 仙台

Higashi O., Shiratori Y., Kitaoka T., Shirakawa H., Zero Emission System for Sustainable Agriculture in Asia (9th IWA International Symposium on Water Management Problems in Agro-Industries, 24-26 November 2014, Kochi, Japan)

Hiroaki Shirakawa, Keigo Noda, Patricia San Miguel, Kazuo Oki, Prediction of land use change and future potential of PES in the Citarum River Basin, Indonesia (1) - Modeling the spatial pattern of land-use change

-(7th Annual ESP Conference 2014, 8-12 Sep 2014, San Jose, Costa Rica)

Keigo Noda, Hiroaki Shirakawa, Patricia San Miguel, Kazuo Oki, Prediction of land use change and future potential of PES in the Citarum River Basin, Indonesia (2) - Assessment of Soil Erosion and Nutrient Runoff Integrating with Land Use Model -(7th Annual ESP Conference 2014, 2014, San Jose, Costa Rica)

Patricia San Miguel, Hiroaki Shirakawa, Keigo Noda, Nao Endo and Kazuo Oki, Characteristics and Determinants for Local Participation in Payment for Agri-environmental Services Program in Citarum Basin, Indonesia, (7th Annual ESP Conference 2014, 8-12 Sep 2014, San Jose, Costa Rica).

Chiharu Hongo, A. A. A. Mirah Adi, I. G. A. A. Ambarawati, Eisaku Tamura, Estimation of rice yield and utilization of rice straw for bioethanol using satellite data (IEEE Geoscience and Remote Sensing Society, July 13-18, 2014, Québec, Canada)

Nao Endo, Hiroaki Shirakawa, Keigo Noda and Kazuo Oki, Household Livelihoods and Utilization of Natural Resources in Rural Areas Upstream of the Citarum River (The 9th Korea-China-Japan Joint Conference on Geography, 7-8 July 2014, Busan, South Korea)

Patricia San Miguel, Hiroaki Shirakawa, Keigo Noda, Nao Endo and Kazuo Oki, Study on local participation in payment for environmental services program in Citarum Basin, West Java, Indonesia (The fourth annual Asian Conference on sustainability, energy and the environment, 12-15 June 2014, Osaka, Japan)

Koshi Yoshida, Ryunosuke Hariya, Kenji Tanaka, Issaku Azechi, Impact analysis of future climate change on water resources and nitrogen load (International Symposium on Agricultural Meteorology 2014, 17 May -21 May, 2014, Sapporo, Japan)

遠藤 尚・白川博章・乃田啓吾・沖一雄,
西ジャワ州チラタ湖南岸農村における世
帯生計と自然資源利用 (日本地理学会
2014 年春季学術大会, 2014 年 3 月 27 日,
東京)

Hiroaki Shirakawa, Keigo Noda, Kzuo
Oki, Patricia.San. Miguel and Osamu
Higashi, Modeling the spatial pattern
of land-use change in Citarum River
Basin (International symposium on
agricultural meteorology 2014, 17th to
21th March 2014, Sapporo, Japan)

Nao Endo, Hiroaki Shirakawa, Keigo
Noda, Masayuki Maki and Kazuo
Oki, Household livelihoods and
utilization of environmental
resources in rural areas of South-east
Asia during the high-growth
economy(International symposium on
agricultural meteorology 2014, 17th to
21th March 2014, Sapporo, Japan)

Keigo Noda, Hiroaki Shiakawa, Koshi
Yoshida and Kazuo Oki, Evaluation of
ecosystem servies regarding soil
conservation in Citarum River Basin
(International symposium on
agricultural meteorology 2014, 17th to
21th March 2014, Sapporo, Japan)

Beria Leimona, Keigo Noda, Hiroaki
Shirakawa and Patricia San Miguel,
Economic instruments and
institutional analysis of ecosystem
service provisions in Citarum Basin,
West Java, Indonesia(International
symposium on agricultural meteorology
2014, 17th to 21th March 2014, Sapporo,
Japan)

小山翔太郎・本郷千春・田村栄作・Gunardi
Sigit・沖一雄・白川博章, GSMap を用
いた年間土壌流出量の推定(日本リモ
ートセンシング学会第 55 回学術講演会,
2013 年 11 月 22 日, 郡山市)
Y. Yamashita, M. Maki, K. Homma, K. Oki,
H. Shirakawa, and Y. Li, Comparison of
Estimated Transplanting Dates Derived
from MODIS Data and COSMO-SkyMed Dara,
Asian Conference on Remote Sensing
2014, 2013/10/20-24, Bali, Indonesia

針谷龍之介, 吉田貢士, 安瀬地一作, 前
田滋哉, 黒田久雄, インドネシア国チタ
ルム川流域における営農管理を考慮した
水・窒素循環モデルの構築(平成 25 年度
農業農村工学会全国大会, 2013 年 9 月 4

日, 東京都府中市)

Patricia.San.Miguel, Hiroaki
Shirakawa, Keigo Noda and Kazuo Oki ,
Concept and practice of payment for
environmental services: Schemes '
assessment and acceptance, Lessons
from Citarum River Basin,
Indonesia(6th International ESP
Conference, 26-30 August 2013, Bali,
Indonesia)

Khnvirya C., Higashi O., Study on
Strategic Environmental Assessment
(SEA) for Hydropower Development in
Cambodia, (the 6th annual Ecosystem
Services Partnership (ESP) conference
2013, 26-30 August, 2013, Bali,
Indonesia).

Chiharu Hongo, Eisaku Tamura and
Gunardi Sigit, Evaluation of nitrogen
nutritional conditions by analyzing
hyperspectral data(9th European
Conference on Precision Agriculture, 8
July, 2013, Lleida, Spain)

21 Patricia.San.Miguel, Hiroaki
Shirakawa, Keigo Noda and Kazuo Oki ,
The prevalence of payment for
environmental service 's essence:
assessment and acceptance. Lessons
from Citarum River Basin, Indonesia
(Japan Society for International
Development spring confirence 2013, 8
June, 2013, Utsunomiya, Japan)

22 Shirakawa H., Patricia S.M., Higashi
O., Bioethanol Production from Rice
Straw and its Economic Impacts in the
Citarum River Basin, 21st European
Biomass Conference and Exhibition (EU
BC&E 2013), 3-7 June, 2013, Copenhagen,
Denmark.

23 Higashi O., Shirakawa H., Xuan T.D. ,
Roles of Biomass Resources for
Designing a Green Infrastructure
System in Ho Chi Minh City, (25th
ANNIVERSARY OF THE HCMC UNIVERSITY OF
TRANSPORT, International Scientific
Conference "Collaboration in
Research and Education for Sustainable
Transport Development " 17 May 2013, Ho
Chi Minh City, Vietnam).

24 Ryohei Shikata, Chiharu Hongo and
Gunardi Sigit, Analysis of relationship
between the estimated rice yield and the

- irrigation water system in West Java, (International Symposium on Remote Sensing, 16 May, 2013, Narashino)
- 25 KhunVirya Chhun, Osamu Higashi, Review current Environmental Impact Assessment (EIA) system in Cambodia on Hydropower Projects, (Mekong Environmental Symposium 2013, 2013年3月7日, Ho Chi Minh, Vietnam).
- 26 Osamu Higashi, Kazuo Oki, Wise Use of Biomass Resources on the DPA Project: Development and Practice of Advanced Basin Model in Asia (GELs Program, WUBR Group International Symposium 2012 “Wise Use of Biomass Resources for Realizing Low-Carbon Society”, 2012年12月13日, 広島)
- 27 Chiharu Hongo, Gunardi Sigit, Koshi Yoshida, Masayasu Maki, Koki Honma, Kazuo Oki, Hiroaki Shirakawa and Takaaki Furukawa, Estimation of rice production based on LAI images by MODIS data in West Java, (Proceedings of the 18rd CEReS International Symposium on Remote Sensing, 2012年10月24日, 千葉).
- 28 Osamu Higashi, Patricia San Miguel, Saiful Arif Abdullah, Hiroaki Shirakawa, A policy framework of REDD-plus for sustainable forest and water management in the state of Pahang, peninsula Malaysia, (the 5th annual Ecosystem Services Partnership (ESP) conference, 2012, 2012年7月31日, Portland, Oregon, US)
- 29 Chiharu Hongo, Takaaki Furukawa, Gunardi Sigit, Masayasu Maki, Koki Honma, Koshi Yoshida, Kazuo Oki, Hiroaki Shirakawa, Estimation of rice yield from MODIS data in West Jawa, Indonesia, (The 11th International conference on Precision Agriculture, 2012年7月15~18日, インディアナポリス USA)
- 30 四方涼平・本郷千春・GunardiSIGIT・本間香貴・吉田貢士・牧雅康・沖一雄・白川博章, 西ジャワ州における水稻の生産量と生育環境との関係, (日本リモートセンシング学会第52回学術講演会論文集, 2012年5月23~24日, 東京)
- 31 古川隆朗・本郷千春・G.Sigit・吉田貢士・牧雅康・本間香貴・沖一雄・白川

博章, 西ジャワにおける LAI と単位面積あたりの水稻の生産量の関係, (日本リモートセンシング学会第52回学術講演会論文集, 2012年5月23~24日, 東京)

〔図書〕(計0件)

〔産業財産権〕
出願状況(計0件)

取得状況(計0件)

〔その他〕
ホームページ等
なし

6. 研究組織

(1) 研究代表者

白川博章 (SHIRAKAWA Hiroaki)
名古屋大学・環境学研究科・准教授
研究者番号: 50393038

(2) 研究分担者

吉田貢士 (YOSHIDA Koshi)
茨城大学・農学部・准教授
研究者番号: 20420226

本間香貴 (HONMA Koki)
京都大学・農学研究科・講師
研究者番号: 60397560

牧 雅康 (MAKI Masayasu)
東北工業大学・工学部・准教授
研究者番号: 50375391

本郷千春 (HONGO Chiharu)
千葉大学・環境リモートセンシング研究センター・准教授
研究者番号: 20272354

東 修 (HIGASHI Osamu)
広島大学・国際協力研究科・准教授
研究者番号: 70464154

遠藤 尚 (ENDO Nao)
高知大学・教育学部・助教
研究者番号: 40532156

(3) 連携研究者

沖 一雄 (OKI Kazuo)
東京大学・産業技術研究所・准教授
研究者番号: 50292628