

筑波大学
陸域環境研究センター第2期中期計画
報告書
(平成16年度～平成21年度)

筑波大学陸域環境研究センター

平成22年3月



まえがき

平成 16 年 4 月に施行された国立大学の法人化に伴い、陸域環境研究センターは学内共同教育研究施設として、生命環境科学研究科の関連センターに位置付けられています。法人化 6 年後の中期目標・中期計画達成期間内に本センターの設立の主旨に沿った成果を確実に挙げるとともに、陸域環境に関する研究・教育のさらなる発展へ向けた展望を切り開くため、平成 16 年 5 月に「陸域環境研究センター第 2 期中期計画」を定めました。この第 2 期中期計画は、本センターが改組された時点で定めた「陸域環境研究センター中期計画」（第 1 期中期計画に相当）に引き続くものであり、本センターにおける組織的教育研究方向を示す「基本方針」と、基本方針に基づいた具体的な研究計画およびそれに関連する事業からなる「研究推進計画」から構成されています。

本中期計画では、平成 20 年度に研究の進捗状況を報告し、平成 21 年度に研究成果のとりまとめを行うことになっています。このため、ここでは平成 16 年 4 月～平成 21 年 12 月までの研究業績を中心として、「研究推進計画」に記された研究課題ごとに簡略な総括を行い、研究業績を中心として「センター第 2 期中期計画報告書」としてとりまとめました。この報告書の取りまとめ期間は、法人化第 1 期中期目標・中期計画期間（平成 16 年度～平成 21 年度）に対応しており、この間におけるセンターの教育研究活動を自己点検するための一部として本報告書は作成されました。教員・準研究員・技術職員・事務職員および非常勤研究員等を合わせて 12 名からなる陸域環境研究センターにおいて、法人化からの 6 年間にわたって実施された活動内容を取りまとめています。

この 6 年間に本センター事業に関連して発表された研究論文数は、国際誌（査読つき）107 編、国内誌（査読つき）32 編、センター報告等に掲載されたその他の論文（査読なし）139 編、著書（分担執筆等を含む）14 件となっています。また、この期間において、博士論文 10 件、修士論文 46 件、卒業論文 49 件が本センター事業に関連して作成されました。この期間における科学研究費等の競争的外部資金の獲得は、代表・分担を含め約 702,000 千円に達しています。

平成 16 年度から始まった法人化の第 1 期が終了することに伴い、大学としての社会に対する説明責任の重要性が一段と増す中、センターの活動内容についても自己点検評価を十分に行う必要があります。この報告書がセンター教職員の相互理解と研鑽の拠りどころとして活用され、また、関係各位におかれましては本センターの教育研究活動の内容をご理解いただき、更なるご指導ご助言を賜る機会となれば幸いです。

最後になりましたが、本報告書を取りまとめるにあたり、ご尽力いただきましたセンター教職員の皆様に厚く御礼申し上げます。

平成 22 年 3 月 30 日
陸域環境研究センター長
田 中 正

目次

まえがき	i
I 陸域環境研究センター第2期中期計画	1
II 課題総括および業績等リスト	
[1] 陸域および流域における水・物質・エネルギー循環に関する基礎研究	4
1-1 環境変化に対する地表物質移動機構の応答特性に関する実験的研究	4
1-2 大気境界層内における熱・物質輸送に関する研究	9
1-3 草原生態系の微気象生態学的解析	15
1-4 地球温暖化に伴う植生の変化が流域水循環に及ぼす影響に関する研究	18
1-5 陸域における水蒸気輸送と降水の変動予測に関する研究	25
1-6 環境同位体を用いた水・物質循環トレーシング	30
[2] アジア域における物質・エネルギー循環に関する研究	41
[3] 乾燥地域における降水過程とその変動予測に関する研究	48
[4] 陸域環境に関わる学際的・国際的研究計画の立案	50

I 陸域環境研究センター第2期中期計画

平成16年4月に施行された国立大学の法人化に伴い、陸域環境研究センターは学内共同教育研究施設として、生命環境科学研究科の関連センターに位置付けられている。本センターはこれまで、世界最大規模の大型水路実験施設を用いた実験や観測圃場における30有余年にわたる熱収支・水収支観測によって、陸域環境に関する研究・教育に大きく貢献してきた。また、WCRP（世界気候研究計画）のサブプログラムであるGAME（アジアモンスーンエネルギー・水循環研究計画）等の研究において、陸面過程の観測や解析を通じて大きな研究成果を挙げてきた。これらの研究成果を踏まえ、法人化6年後の中期目標・中期計画達成期間内に本センターの設立の主旨に沿った成果を確実に挙げるとともに、陸域環境に関する研究・教育のさらなる発展へ向けた展望を切り開くため、陸域環境研究センター第2期中期計画を定める。この中期計画は本センターにおける組織的研究と運営の方向を示す「基本方針」と基本方針に基づいた具体的な研究計画およびそれに関連する業務からなる「研究推進計画」から構成される。

【基本方針】

陸域環境研究センターでは、陸域環境に関わる基盤研究としてセンターの保有する大型水路実験施設および熱収支・水収支実験施設を活用した実験的・観測的研究を推進する。とくに、陸域および流域における水・物質・エネルギー循環に関する基礎研究および土壌・植生・大気間の水・エネルギーフラックスと二酸化炭素などの物質交換に関する観測および研究を実施する。さらに全球および大陸規模の気候変動に関わる研究として、アジア大陸における陸面過程に関する研究を推進する。上記の研究を遂行するにあたり、これらの実験および観測に密着した数値モデルの研究も併せて推進する。

【研究推進計画】

上記の基本方針に従い、以下の基礎研究を推進する。平成20年度に研究の進行状況を報告し、同21年度に研究成果のとりまとめを行う。

[1] 陸域および流域における水・物質・エネルギー循環に関する基礎研究

1-1 環境変化に対する地表物質移動機構の応答特性に関する実験的研究

環境の変化に対する山地斜面、河川、海岸の応答特性を解明することを目的とし、水理条件や流入土砂量などの外的条件が時間的に変化した際に、地表物質の移動機構や地形がどのような変動を示すかについて、世界最大級の大型水路をはじめとする各種の実験装置を活用して明らかにする。

1-2 大気境界層内における熱・物質輸送に関する研究

大気境界層乱流による熱や水蒸気・二酸化炭素などの物質輸送に関して、長期間にわたる信頼できるデータ取得を可能とするような観測手法を確立する。また、熱・水・物質輸送相互の相似性、特異性、

非定常性に関するデータ解析および数値シミュレーションを通じて、大気と陸面間の水・熱・物質交換を中心とした相互作用を解明する。また、特に生態系と物質循環・水循環の相互作用について1-3と連携して研究を進める。

1-3 草原生態系の微気象生態学的解析

陸域環境研究センターの実験草原を中心として、生態学と微気象学の両面から草原生態系の動態を実験的に解析し、得られた知見に基づいて草原生態系の環境形成作用を炭素・水・熱の観点からモデル開発を行う。

1-4 地球温暖化に伴う植生の変化が流域水循環に及ぼす影響に関する研究

森林流域を基本単位とし、流出機構や水の流動経路といった流域の水循環プロセスを明らかにするとともに、地球温暖化に伴う植生の変化が流域水収支の変化や地下水涵養機構の変化を通じて流域水循環に及ぼす影響を明らかにする。

1-5 陸域における水蒸気輸送と降水の変動予測に関する研究

陸域における降水は海陸分布や山岳さらに地表状態により顕著な地域分布を示し、気候変動の影響も地域により大きく異なる。地表面状態は農業活動や森林伐採・都市化によっても変化し、地域の気候に影響を与えることがある。この研究では現地観測、高分解能の衛星観測および領域気候モデルによる数値シミュレーションにより、大気中の水蒸気輸送および雲や降水システムの発達に及ぼす地形・地表面状態の影響を明らかにする。

(関連：農林水産研究高度化事業)

1-6 環境同位体を用いた水・物質循環トレーシング

地表面—大気間の水・物質交換過程と流域規模あるいは大陸・地球規模の陸域環境変動とを結びつけて考えるために、天然に存在する同位体（環境同位体）トレーサー等を用いて、様々な場の条件下における水・物質循環系の時空間構造（起源・輸送経路・輸送量・滞留時間など）を明らかにする。また、センター所有の設備を利用して、基礎研究および手法開発を行う。

[2] アジア域における物質・エネルギー循環に関する研究

北東アジアにおける大気・水・植生間の水・熱・物質循環を題材として、現地観測とそのデータ解析・数値モデルの構築を通じて、森林—草地—砂漠からなる植生変遷域での水循環機構の変化のモデル化を行い、効率的な水利用のあり方を探る。特に、1) 大気境界層の挙動と領域水・熱フラックスの関係、2) 同位体比の観測による広域水循環の把握、3) 大気モデルによる乾燥地・半乾燥地の水・熱循環把握、4) 草原生態系の水・炭素循環と人間活動の関係の把握、5) 分布型水文モデルによる水利用のモデル化、を中心に研究を行う。

平成17年度：現地における観測、モデル入力値の取得、観測データの解析、モデル研究。

平成18年度：研究のとりまとめ。

(関連：CREST プロジェクト)

[3] 乾燥地域における降水過程とその変動予測に関する研究

地球規模の気候変動が地域の降水量に与える影響については、いまだに有効な予測手段がない。この研究ではとくに水資源の脆弱な乾燥域を対象に、該当地域の農業活動との関係を念頭において、温暖化など地球規模の気候変動や地表面の改変が該当地域の降水量や日照時間に及ぼす影響の予測可能性について研究する。領域気候モデルを用いて大規模循環場と地域の降水量の関係を調べるとともに、乾燥域で得られた観測データをもとに、陸面過程（顕潜熱フラックス）と大気境界層および雲活動との相互作用を検討し、地域内の大気・陸面フィードバックシステムを解明する。これにより、大規模場の変動や地表面の人為的改変による地域の降水変動の予測に必要な条件を探る。実施にあたっては研究推進計画[2]と緊密に連携する。

平成17年度：複数のGCM および領域気候モデルによる予測実験と相互比較。

平成18年度：北東アジアおよびトルコ・チュクロバ流域の降水量・日射量の変動
予測とその信頼性の総合評価ととりまとめ。

平成19年度：中国・黄河流域の降水量・日射量の変動の予測信頼性の総合評価。

(関連：地球研プロジェクト・CREST プロジェクト)

[4] 陸域環境に関わる学際的・国際的研究計画の立案

陸域環境研究センターでは大気科学、水文科学、地形学、生態学、など複数の学問分野の研究者が協力して研究を進めている。しかしながら、陸域における環境問題の解明の一環として、土壌・植生・大気間の水・エネルギーフラックスおよび二酸化炭素などの物質交換に関する研究をさらに推進・拡大するためには、理学系の枠組みを越えた一層広範な学際的な研究が不可欠である。このため、陸域環境に係わる複数の専攻や関連センターの研究者が中心となって、陸域における環境問題の解明に直結するとともに、学際的・国際的かつ新しい視点に立った研究計画を立案し、その実施に向けての条件整備を行う。

平成17年度：振興調整費、CREST、地球観測、科研費S、他省庁研究費などの動向調査。

関係専攻との協議、関連する学内部局との協議、海外機関・研究者との協議、GEWEX、IGBP など国際研究組織の動向調査。

平成18年度：研究計画の概要の立案。

平成19年度：研究計画の立案、予算要求、研究の開始。

平成20年度：同上

平成21年度：同上

(関連：地球観測、地球研、科研費S、他省庁研究費、その他大型予算)

II 課題総括および業績リスト

[1] 陸域および流域における水・物質・エネルギー循環に関する基礎研究

1-1 環境変化に対する地表物質移動機構の応答特性に関する実験的研究

***** 総括 *****

本研究領域は、環境の変化に対する地表物質移動機構の応答特性を明らかにすることで、過去の変動を読み解くための基礎情報を提示し、さらには環境変動に対する山地斜面、河川、海岸の応答特性の将来予測へと発展させることを目指すものである。本中期計画期間内においては、陸域、沿岸域に普遍的に存在する地形、地形プロセスを対象とし、本センター、および国内外の水理実験装置を利用した実験的研究と、国内各地における野外調査を遂行した。主に(1)沿岸域のベッドフォーム、(2)岩盤侵食・斜面崩壊、(3)三角州に関する研究が行われた。

なお、本中期計画期間に、老朽化の著しかった水理実験棟が建て替えられたほか、二次元造波水路と屋外の一方向流水路が更新され、生物圏資源科学専攻の水路が改修されるなど、既存の小型実験設備が一新された。また、二方向振動板装置、複合流水路が新たに設置され、設備の拡充が図られた。

1) 沿岸域ベッドフォーム

波浪が卓越する沿岸域のベッドフォーム（特にリップマーク）について、波浪（振動流）変動に対する応答特性を造波水路実験から明らかにし（Sekiguchi, 2005, 2009; Sekiguchi and Sunamura, 2005）、これらの研究成果と既往研究による知見と併せてレビューを行った（関口、印刷中）。また、沿岸域で想定される複雑な流れ場における平衡ベッドフォームについて、世界初となる二方向振動板装置を開発して二次元振動実験（関口, 2008）に取り組み、ladder-back ripple の形成条件を明らかにしたほか、大型水路（Lacy *et al.*, 2007）や複合流水路（Sekiguchi and Yokokawa, 2008）を用いた複合流実験、重複波下のベッドフォームに関する造波水路実験（Yamaguchi *et al.*, 2007）を行い、それらの特性を明らかにした。複合流実験に関しては、センターの複合流水路だけではなく、イリノイ大学の複合流トンネル、同志社大学の複合流水路を併せて利用し、研究が継続されている。

2) 岩盤侵食・斜面崩壊

地形に環境変動の痕跡を刻み込む岩盤侵食作用、斜面崩壊プロセスについて、野外調査、室内実験が行われた。岩盤侵食による波食棚の形成（青木・前門, 2006; Matsukura *et al.*, 2007）や、岩盤中のクラックの影響を受けた海食崖の崩壊（Kogure *et al.*, 2007; Kogure and Matsukura, in press）など海岸地形の変動に関する野外研究、山地斜面の崩壊プロセス（Matsushi *et al.*, 2006; Wakatsuki and Matsukura, 2008）や発達（Hattanji *et al.*, 2006）に関する野外研究が行われた。また、岩盤侵食の基礎プロセスに関する小型水路実験（井口・関口, 2008）が行われた。

3) 三角州

主に三角州に対する波浪の影響に関する基礎実験が行われた。地層中に見られる三角州前置層の形成条件に関する二次元造波水路実験（岡崎ほか, 2004）が行われた。そのほか、将来的に海水準変動に対する三角州の応答特性に応用することを念頭に、定常波浪フォーシング下における三角州の特性について二次元造波水路実験、平面造波水槽実験が立ち上げられた。

4) その他

- (1) 大型水路を利用した河床礫の摩耗様式に対する礫の初期形状、流下様式の影響に関する実験。
- (2) 波浪影響下における堆積物重力流の挙動特性に関する二次元造波水路実験が立ち上げられた。

***** 研究業績 *****

●国際誌（査読つき）

Aoki, H. and Matsukura, Y. (2007): A new technique for non-destructive field measurement of rock-surface strength: an application of the Equotip hardness tester to weathering studies. *Earth Surface Processes and Landforms*, **32**, 1759-1769.

Aoki, H. and Matsukura, Y. (2007): Effects of rock strength and location heights on growth rates of tafoni-like depressions at sandstone blocks used for a masonry bridge pier in the coastal spray zone. *Zeitschrift fur Geomorphologie, N. F.*, **51**, Supplementary Issue 1, 115-132.

Aoki, H. and Matsukura, Y. (2008): Estimating the unconfined compressive strength of intact rocks from Equotip hardness. *Bulletin of Engineering Geology and the Environment*, **67**, 23-29.

Hattani, T., Onda, Y. and Matsukura, Y. (2006): Thresholds for bed load transport and channel initiation in a chert area in Ashio Mountains, Japan: An empirical approach from hydrogeomorphic observations. *Journal of Geophysical Research*, **111**, F02022, doi: 10.1029/2004JF000206.

Kogure, T., Aoki, H., Maekado, A., Hirose, T. and Matsukura, Y. (2006): Effect of notch and tension crack development on instability of coastal cliffs made of Ryukyu Limestone at Okinawa, Japan. *Geomorphology*, **80**, 236-244.

Kogure, T. and Matsukura, Y. (in press): Critical notch depths for failure of coastal limestone cliffs: Case study at Kuro-shima Island, Okinawa, Japan. *Earth Surface Processes and Landforms*.

Lacy, J. R., Rubin, D. M., Ikeda, H., Mokudai, K. and Hanes, D. M. (2007): Bed forms created by simulated waves and currents in a large flume. *Journal of Geophysical Research*, **112**, C10018, doi: 10.1029/2006JC003942.

Matsukura, Y., Maekado, A., Aoki, H., Kogure, T. and Kitano, Y. (2007): Surface lowering rates of uplifted limestone-terraces estimated from the height of pedestals on a subtropical island of Japan. *Earth Surface Processes and Landforms*, **32**, 1110-1115.

- Matsushi, Y., Hattanji, T. and Matsukura, Y. (2006): Mechanisms of shallow landslides on soil-mantled hillslopes with permeable and impermeable bedrocks in the Boso Peninsula, Japan. *Geomorphology*, **76**, 92-108.
- Sekiguchi, T. (2005): Ripples with secondary crests as a possible indicator of palaeo-wave direction: a laboratory experiment. *Journal of the Geological Society of Japan*, **111**, 182-186.
- Sekiguchi, T. (2009): Transient 3D- patterned ripples appear during deformation of a 2D ripple field under wave-induced oscillatory flow. *Earth Surface Processes and Landforms*, **34**, 839-847.
- Sekiguchi, T. and Sunamura, T. (2005): Threshold for ripple formation on artificially roughened beds: wave-flume experiments. *Journal of Coastal Research*, **21**, 323-330.
- Sekiguchi, T. and Sunamura, T. (2005): Development of characteristic ripple patterns in response to the change in wave conditions: a laboratory experiment. *Transactions, Japanese Geomorphological Union*, **26**, 29-45.
- Wakatsuki, T. and Matsukura, Y. (2008): Lithological control on soil formation and soil slips in weathering- limited slopes underlain by granitic bedrocks in Japan. *Catena*, **72**, 153-168.
- Yamaguchi, N., Sekiguchi, T. and Masuda, F. (2007): Cross-shore ripple variations under laboratory partially standing waves: a possible clue to paleo-wavelength. *Journal of Sedimentological Society of Japan*, **64**, 15-19.
- Yoshino, K., Miyasaka, H., Kawamura, Y., Genkai-Kato, M., Okuda, N., Hayami, Y., Ito, S., Fukumori, K., Sekiguchi, T., Ohnishi, H., Ohmori, K. and Takeoka, H. (2006): Sand banks contribute to the production of coastal waters by making a habitat for benthic microalgae in the sublittoral zone: food web analyses in Aki-Nada using stable isotopes. *Plankton and Benthos Research*, **1**, 155-163.

●国内誌 (査読つき)

- 青木 久・小暮哲也・前門 晃・廣瀬 孝・松倉公憲 (2006): 琉球石灰岩からなる海食崖の崩落 ノッチの限界深さに関する一考察. 島嶼科学.
- 青木 久・前門 晃 (2006): 石灰岩で構成される波食棚の形成要因について: 沖縄島辺戸岬の事例. 地形, **27**, 461-475.
- 関口智寛 (印刷中): ウェーブリップルの遷移過程, 地質学雑誌特集号.
- 高屋康彦・廣瀬 孝・青木 久・松倉公憲 (2006): 室内実験における石灰岩の溶解特性に関する一考察. 地学雑誌, **115**, 136-148.
- 目代邦康・千木良雅弘 (2004): 赤石山脈南部, 大谷崩から山伏にかけての山体重力変形地形. 地理学評論, **77**, 55-76.
- 若月 強・青木 久・小暮哲也・前門 晃・松倉公憲 (2007): 2005年6月集中豪雨による沖縄島北部の千枚岩の切り取り斜面に発生した表層崩壊の特徴. 島嶼科学.

●紀要・報告書・解説・Proceedings 等 (査読なし)

- 青木 久・前門 晃 (2006): 石灰岩で構成される海岸地形の多様性について一波食棚地形の形成条件と形成高度に関する一考察一. 琉球大学 21 世紀 COE プログラム編集委員会編「美ら島の自然史ーサンゴ礁島嶼系の生物多様性」, 東海大学出版会, 第 26 章, 361-371.
- 青木 久・小暮哲也・前門 晃・松倉公憲 (2006): 沖縄島荒崎海岸における迷子石「カサカンジャー」の定置時期に関する一考察. 筑波大学陸域環境研究センター報告, **7**, 53-58.
- 青木 久・小暮哲也・前門 晃・松倉公憲 (2006): 琉球石灰岩の海食崖にみられるノッチの限界深さ: 八重山諸島・黒島での事例. 沖縄地理, **7**, 25-32.
- 青木 久・前門 晃 (2006): サンゴ礁海浜の前浜勾配に関する定量的予測. 沖縄地理, **7**, 79-84.
- 井口達也・関口智寛 (2008): 人工岩石を用いた滝つぼ形成実験に関する予察的報告. 筑波大学陸域環境研究センター報告, **9**, 43-48.
- 岡崎浩子・池田 宏・目代邦康・飯島英夫 (2004): 更新統ギルバート型三角州前置層の形成過程推定のための基礎実験. 筑波大学陸域環境研究センター報告, **5**, 41-50.
- 小暮哲也 (2009): 八重山諸島・黒島および竹富島に分布する琉球石灰岩の物理・力学的性質. 筑波大学陸域環境研究センター報告, **10**, 61-68.
- 関口智寛 (2008): 二方向振動板装置の開発. 筑波大学陸域環境研究センター報告, **9**, 25-28.
- 千木良雅弘・目代邦康 (2003): 大谷崩と山伏. 日本地質学会第 110 年学術大会見学旅行案内書, 83-94.
- 松倉公憲・八反地 剛 (2006): タブレット野外風化実験にまつわるいくつかの問題点. 筑波大学陸域環境研究センター報告, **7**, 41-51.
- 目代邦康 (2003): 堆積岩山地と花崗岩山地における山体の重力変形による地形的特徴・地質構造の比較研究. 地学雑誌, **112**, 416-418.
- 目代邦康・池田 宏・飯島英夫・小松陽介・齋藤健一 (2003): 河床形状に及ぼす植生の影響に関する大型水路実験. 筑波大学陸域環境研究センター報告, **4**, 129-134.
- 目代邦康・塩澤暁子 (2005): 陸域環境研究センター報告の WWW での公開について. 筑波大学陸域環境研究センター報告, **6**, 89-91.
- Maekado, A. and Aoki, H. (2006): Vertical changes in physical and mechanical properties due to weathering of Kunigami Gravel. *Bulletin of the Okinawa Geographical Society*.
- Matsukura, Y., Hattanji, T., Oguchi, C. T. and Hirose, T. (2006): Rates of chemical weathering of porous rhyolites: ten-year measurements using the weight-loss method. *Tsukuba Geo-environmental Sciences*, **2**, 3-8.
- Sekiguchi, T. (2006): A dataset of wave-flume experiments of the threshold for ripple formation on beds with perturbations. *Bulletin of the Terrestrial Environment Research Center*, **7**, 125-133.
- Sekiguchi, T. (2008): Effect of wave period on combined-flow bedforms: a flume experiment. *Marine and River Dune Dynamics III*, 281-284.

●卒業論文

井口達也 (2007): 滝つぼ形成実験: 流量・落差の影響. 42p. (筑波大学自然学類)

新井賢造 (2008): 大型水路を用いた人工岩石の磨耗実験. 39p. (筑波大学自然学類)

***** 競争的外部資金 *****

(科学研究費等)

H 19-21 科研費若手研究 (B): 「複雑な振動流下における三次元ウェーブリップルの自己組織化に関する実験的研究」(代表: 関口智寛) 3,600 千円

H 19 筑波大学生命環境科学研究科平成 19 年度研究科研究プロジェクト等支援経費: 「複雑な振動流下における三次元ウェーブリップルの自己組織化に関する実験的研究」(代表: 関口智寛) 855 千円

H 20-22 科研費基盤研究 (B): 「複合流ベッドフォームダイアグラムの作成: 堆積構造の新たな統一的理解に向けて」(代表: 横川美和, 分担: 関口智寛) 15,990 千円 (ただし H 20-21 の期間について)

1-2 大気境界層内における熱・物質輸送に関する研究

***** 総括 *****

1) 大気境界層内における熱・物質輸送に関する研究

スカラー間の相似性とは、ボーエン比法などの様々な計測手法や数値モデルで用いられている、接地層における基本的な性質である。しかしながら、1990年代初頭から、特に温度と比湿間の相似性が成立しない事が報告されており、相似性の成立条件を明らかにすることも目的に一連の研究を行った。Asanuma *et al.* (2007) は、相似性の周波数依存性を明らかにし、Asanuma *et al.* (2005) は、温度と比湿の相似性を利用するバンドパス法の適用性について検討した。また、浅沼 (2009) は、ウェーブレット変換を用いて、非相似モードを分離する方法を提案した。これらの研究から、大気境界層スケールの熱・水蒸気輸送過程が、相似性の成立を妨げていることを明らかにした。また、乱流スケールよりも大きなメソスケールにおいても、相似性が成立しないことを明らかにした(Saito *et al.*, 2007, Saito and Asanuma, 2008)。地表面と大気間の熱・水・二酸化炭素交換は、様々な時空間スケールで行われるが、Saito *et al.*(2007)は、メソスケールにおいても鉛直輸送が行われていることを、ウェーブレット変換を用いて明らかにしている。また、Iwata *et al.* (2009)は、森林場における熱・水・二酸化炭素交換のメカニズムについて、サーフェスリニューアル法を用いて議論した。

2) 特別教育研究経費による TERC プロジェクト研究: モンゴル地域を対象とした研究

別項記載の CREST-RAISE 終了後の、筑波大学を中心とする研究者グループとモンゴルの大気水文環境監視庁水文気象研究所のカウンターパートとの間の共同研究の枠組みを基盤として、モンゴル地域を中心とする水文気象研究を展開していくための活動を推進してきた。その一つは、カウンターのパートとともに WCRP-GEWEX 傘下のアジアを中心とした国際的な研究枠組みである MAHASRI (モンスーンアジア水文気候研究計画) に、カウンターのパートとともに参画して、その北東アジア地域研究を推進することを目的に、共同研究計画覚書を取り交わして、以降の研究の礎とした。

また、RAISE より行ってきた地上観測を継続することによって、モンゴル地域においては初めてとなる、7年間に渡る長期的で高精度の地表面熱・水・炭素収支観測データを取得した。このデータを用いて、モンゴル草原地域に陸面モデルを適用し、観測データとの比較からモデルの検証を行った(福井, 2009; Asanuma and Fukui, 2009)。また全球陸面同化システムの出力の検証を行った(山浦, 2009; Asanuma and Yamaura, 2009)。また、モンゴルのカラマツ林や草原における蒸発散や光合成炭素同化が、どのような気象要因に支配されるかを明らかにした(Li *et al.*, 2005, 2006, 2007)。また、これらのデータは、CEOP (統合地球水循環強化観測計画) や Asia Flux などの国際的なデータベースに登録されて、世界中の様々な研究者によって、モデルや衛星データの検証などの幅広い用途に利用されている。例えば、Saigusa, *et al.* (2008) や Hirata, *et al.*(2008), Saigusa (2009)などは、モンゴルのカラマツ林とアジア地域の他のカラマツ林とを比較し、外部要因の応答特性について議論している。また、Ueyama(2009)は、生態圏モデル BIOME-BGC をモンゴルのカラマツ林に適用している。また、浅沼 (2009)は、草原の 5

年間にわたる水・熱収支とその変動要因について検討した。

***** 研究業績 *****

●国際誌 (査読つき)

- Asanuma, J. and Iemoto, K. (2007): Measurements of regional sensible heat flux over Mongolian grassland using large aperture scintillometer. *J. Hydro.*, **333**, 58-67.
- Asanuma, J., Ishikawa, H., Tamagawa, I., Ma, Y., Hayashi, T., Qi, Y. and Wang, J. (2005): Application of bandpass covariance technique to portable flux measurements over Tibetan plateau. *Water Resour. Res.*, **41**, W09407, doi: 10.1029/2005WR003954.
- Asanuma, J., Tamagawa, I., Ishikawa, H., Ma, Y., Hayashi, T., Qi, Y. and Wang, J. (2007): Spectral similarity between scalars at very low frequencies in the unstable atmospheric surface layer over the Tibetan plateau. *Boundary-Layer Meteo.*, **122**, 85-103, doi: 10.1007/s10546-006-9096-y.
- Choi, T., Kim, J., Lee, H., Hong, J., Asanuma, J., Ishikawa, H., Gao, Z., Wang, J. and Koike, T. (2004): Turbulent exchange of heat, water vapor and momentum over a Tibetan prairie by eddy covariance and flux-variance measurements. *J. Geophys. Res. -Atmos.*, **109**, No. D21, p. D21106, doi: 10.1029/2004JD004767.
- Hirata, R., Saigusa, N., Yamamoto, S., Ohtani, Y., Ide, R., Asanuma, J., Gamo, M., Hirano, T., Kondo, H., Kosugi, Y., Li, S. G., Nakai, Y., Takagi, K., Tani, M. and Wang, H. (2008): Spatial distribution of carbon balance in forest ecosystems across east Asia. *Agri. and Forest Meteo.*, **148**, 761-775, doi: 10.1016/j.agrformet.2007.11.016, abstract.
- Iwata, H., Malhi, Y. and von Randow, C. (2005) : Gap-filling measurements of carbon dioxide storage in tropical rainforest canopy airspace. *Agric. For. Meteorol.*, **132**, 305-314.
- Iwata, H., Asanuma, J., Ohtani, Y., Mizoguchi, Y. and Yasuda, Y. (2009): Vertical length scale of transporting eddies for sensible heat in the unstable roughness sublayer over a forest canopy. *J. Agric. Meteorol.*, **65**, 1-9, doi: 10.2480/agrmet.65.1.1.
- Li, S. G., Asanuma, J., Eugster, W., Kotani, A., Liu, J. J., Urano, T., Oikawa, T., Davaa, G., Oyunbaatar, D. and Sugita, M. (2005): Net ecosystem carbon dioxide exchange over grazed steppe in central Mongolia. *Global Change Biology*, **11**, 1941-1955. doi: 10.1111/j.1365-2486.2005.01047x.
- Li, S. G., Asanuma, J., Kotani, A., Davaa, G. and Oyunbaatar, D. (2007): Evapotranspiration from a Mongolian steppe under grazing and its environmental constraints. *J. Hydro.*, **333**, 133-143.
- Li, S. G., Asanuma, J., Kotani, A., Eugster, W., Davaa, G., Oyunbaatar, D. and Sugita, M. (2005): Year-round measurements of net ecosystem CO₂ flux over a montane larch forest in Mongolia. *Journal Geophys. Res. -Atmos.*, **110**, doi: 10.1029/2004JD005453.
- Li, S. G., Eugster, W., Asanuma, J., Kotani, A., Davaa, G., Oyunbaatar, D. and Sugita, M. (2006):

- Energy partitioning and its biophysical controls above a grazing steppe in central Mongolia. *Agri. and Forest Meteo.*, **137**, 89-106.
- Li, S. G., Eugster, W., Asanuma, J., Kotani, A., Davaa, G., Oyunbaatar, D. and Sugita, M. (2008): Response of gross ecosystem productivity, light use efficiency, and water use efficiency of Mongolian steppe to seasonal variations in soil moisture. *J. Geophys. Res.-Biogeo.*, **113**, G01019, doi: 10.1029/2006JG000349.
- Mariko, S., Urano, T. and Asanuma, J. (2007): Effects of irrigation on CO₂ and CH₄ fluxes from Mongolian steppe soil. *J. Hydro.*, **333**, 118-123.
- Saigusa, N., Ichii, K., Murakami, H., Hirata, R., Asanuma, J., Den, H., Han, S. J., Ide, R., Li, S. G., Ohta, T., Sasai, T., Wang, S. Q. and Yu, G. R. (2009): Impact of meteorological anomalies in the 2003 summer on gross primary productivity in east Asia. *Biogeosciences Discussions*, **6**, 8883-8921.
- Saigusa, N., Yamamoto, S., Hirata, R., Ohtani, Y., Ide, R., Asanuma, J., Gamo, M., Hirano, T., Kondo, H., Kosugi, Y., Li, S. G., Nakai, Y., Takagi, K., Tani, M. and Wang, H. (2008): Temporal and spatial variations in the seasonal patterns of CO₂ flux in boreal, temperate, and tropical forests in east Asia. *Agri. and Forest Meteo.*, **148**, 700-713, doi: 10.1016/j.agrformet.2007.12.006.
- Saito, M. and Asanuma, J. (2008): Eddy covariance calculation revisited with wavelet cospectra. *SOLA*, **49**, 49-52, doi: 10.2151/sola.2008-013.
- Saito, M., Asanuma, J. and Miyata, A. (2007): Dual-scale transport of sensible heat and water vapor over a short canopy under unstable conditions. *Water Resour. Res.*, **43**, ISSN 0043-1397.
- Strunin, M. A., Hiyama, T., Asanuma, J. and Ohata, T. (2004): Aircraft observations of the development of thermal internal boundary layers and scaling of the convective boundary layer over non-homogeneous land surfaces. *Boundary-Layer Meteorology*, **111**, 491-522.
- Sugita, M., Asanuma, J., Tsujimura, M., Mariko, S., Lu, M., Kimura, F., Azzaya, D. and Adyasuren, T. (2007): An overview of the rangelands atmosphere-hydrosphere-biosphere interaction study experiment in northeastern Asia (RAISE). *J. Hydro.*, **333**, 3-20.
- Suzuki, R., Hiyama, T., Asanuma, J. and Ohata, T. (2004): Land surface identification near Yakutsk in eastern Siberia using video images taken from a hedgehopping aircraft. *International Journal of Remote Sensing*, **25**, 4015-4028.
- Ueyama, M., Ichii, K., Hirata, R., Takagi, K., Asanuma, J., Machimura, T., Nakai, Y., Ohta, T., Saigusa, N., Takahashi, Y. and Hirano, T. (2009): Simulating carbon and water cycles of larch forests in east Asia by the Biome-BGC model with Asia Flux data. *Biogeosciences Discussions*, **6**, 8311-8357.

●国内誌 (査読つき)

浅沼 順 (2009): 地表面付近の熱と水蒸気輸送の相似性に関する直交ウェーブレット解析. 第53回水工

学論文集, **53**, 265-270.

浅沼 順・上米良秀行・陸 旻 (2004): 我が国におけるパン蒸発量の長期変動と水循環変動との関わり. 天気, **51**, 667-678.

石田祐宣・松島 大・樋口篤志・檜山哲哉・戸田 求・浅沼 順・玉川一郎・宮崎 真・田中賢治・杉田倫明・永井秀幸・田中久則・飯田真一・小林菜花子 (2004): 2001 年筑波大学陸域環境研究センター(TERC)における乱流計測機集中観測: 機器比較と校正による誤差の解析. 水文・水資源学会誌, **17**, 43-60.

●紀要・報告書・解説・Proceedings 等 (査読なし)

岩田拓記・杉田倫明 (2006): 鉛直風標準偏差の普遍関数を用いた顕熱フラックス測定エラーの補正. 筑波大学陸域環境研究センター報告, **7**, 87-97.

岩田拓記・山中 勤・杉田倫明 (2009): 航空写真判読を用いた過去のつくば市における粗度長変化の推定. 筑波大学陸域環境研究センター報告, **10**, 13-18.

浅沼 順 (2007): モンゴル半乾燥草原におけるシンクロメータによる広域顕熱フラックスの測定. 陸域環境研究センター報告, **7**, 別冊 No. 2, 49-50.

浅沼 順・野原大輔・原 政之・寄崎哲弘 (2004): 第3世代気象・水文観測データ収集・公開システムについて. 陸域環境研究センター報告, **5**, 157-174.

浅沼 順・ほか7名 (2007): 「北ユーラシア気候変化・水循環変動に関する研究集会」報告. 天気, **54**, 299-303.

野原大輔・浅沼 順 (2004): 熱収支・水収支観測資料 - 2003 年 -. 陸域環境研究センター報告, **5**, 129-155.

藪崎志穂・田中 正・福島武彦・浅沼 順・飯田真一 (2006): 霞ヶ浦流域における河川水の水質・流量特性について. 陸域環境研究センター報告, **7**, 3-13.

Bates, B. C., Kundzewicz, Z. W., Wu, S. and Palutikof, J. P. eds. (2008): *Climate Change and Water*. Technical paper of the intergovernmental panel on climate change. IPCC Secretariat, Geneva, 210 p. (レビューを担当)

Kundzewicz, Z. W., Mata, L. J., Arnell, N. W., Doll, P., Kabat, P., Jimenez, B., Miller, K. A., Oki, T., Sen, Z. and Shiklomanov, I. A. (2007): Freshwater resources and their management. Parry, M. L., Canziani, O. F., Palutikof, J. P., van der Linden, P. J. and Hanson, C. E. eds. (2007): *Climate Change*, Cambridge University Press, Cambridge, UK, 173-210. (13名の貢献著者のうちの一人)

Li, S. G., Asanuma, J., Kotani, A., Davaa, G., Oyunbaatar, D. and Sugita, M. (2005): Water balance for a Mongolian steppe and its environmental constraints. *Bull. TERC, Univ. of Tsukuba*, **5** Suppl., 92-94.

Sugita, M. and Asanuma, J. (2006): Recent findings from RAISE project and future plan. *Proceedings of 2nd Symposium on Water Cycle in Northern Eurasia*, 87-90.

Sugita, M., Asanuma, J., Mariko, S., Tsujimura, M., Kimura, F., Lu, M., Azzaya D. and Adyasuren T.

(2005): Recent findings from RAISE Project. *Proceedings of the First International Symposium on Terrestrial and Climate Change in Mongolia*, 67-71.

Sugita, M., Asanuma, J., Mariko, S., Tsujimura, M., Kimura, F., Lu, M., Azzaya, D. and Adyasuren, T.(2005): RAISE project: summary for the first three years' activities, International Workshop on Terrestrial Change in Mongolia. *Proceedings of the 3rd International Workshop on Terrestrial Change in Mongolia, Bull. TERC, Univ. of Tsukuba*, 5 Suppl., 4-6.

●著書 (分担執筆等)

浅沼 順 (2007): 第 14 章「人の歴史と水循環: そして「水の世紀」へ」. 松岡憲知・ほか編「地球環境学」, 古今書院, 53-56.

浅沼 順 (2009): 高橋 裕編「川の百科事典」. 丸善.

浅沼 順 (2009): 第 4 章「蒸発散」. 杉田倫明・田中 正編著, 筑波大学水文学研究室著「水文科学」, 共立出版, 75-102.

●招待講演

浅沼 順・佐藤友徳・岩崎博之・遠藤伸彦・李 勝功・小谷亜由美・辻村真貴・陸 旻皎 (2007): モンゴル地域の水循環について. NPO 法人モンゴルエコフォーラム記念講演会「第 4 回モンゴルの環境は今」.

浅沼 順・福井秀典 (2009): モンゴル半乾燥域における陸面プロセスの観測とモデル研究. 日本気象学会春季大会専門部会「広域スケールの大気-陸域間の相互作用と気候変動」.

Asanuma, J. (2007): Land-atmosphere interaction at semi-arid grassland in Mongolia. International Workshop on Semi-arid Land Surface-Atmosphere Interaction, Lanzhou, Chins, 9-11 Aug., 2007.

Asanuma, J., Fukui, H. and Yamaura, Y. (2009): Application of community land model to semi-arid Mongolian grassland. 2nd MAIRS International Workshop on Asian Dryland Study, Chanchun, China.

●博士論文

Saito, Makoto (2006): Characteristics of vertical heat and water vapor transport at around spectral gap scales over land surfaces. 91p. (筑波大学生命環境科学研究科)

Iwata, Takuki (2007): Surface renewal analysis of turbulent transfers in the unstable roughness sublayer over a forest canopy. 133p. (筑波大学生命環境科学研究科)

●修士論文

家本 薫 (2004): 非一様植生面上での大口径シンチロメータを用いた地表面熱収支の観測. 52 p. (筑波大学環境科学研究科)

- 福井秀典 (2009): モンゴル半乾燥地域における陸面モデルの検証. 70p. (筑波大学生命環境科学研究科)
- 山浦大和 (2009): 陸面過程データセットを用いたモンゴル周辺域における陸面水収支の解明. 66p. (筑波大学生命環境科学研究科)

***** 競争的外部資金 *****

(科学研究費等)

- H13-16 科研基盤研究 (A): 「各種陸上生態系における炭素,水,熱フラックスの相互関係の微気象生態学的解析」(代表: 及川武久, 分担: 浅沼 順) 16,800 千円
- H13-18 科学技術振興機構戦略的創造研究推進事業 (CREST): 「北東アジアの植生変遷域の水循環と生物, 大気圏の相互作用の解明」(代表: 杉田倫明, 分担: 木村富士男, 浅沼 順, 田中 正, 山中 勤) 69,534 千円 (ただし H16-18 の期間について)
- H14-16 科研基盤研究 (A): 「モンスーンアジアにおける地表面変化と気候,水循環変動—統合的国際共同研究」(代表: 安成哲三, 分担: 浅沼 順) 42,700 千円
- H16 科研基盤研究 (C): WCRP/GEWEX 第2期のアジアにおける研究推進と国際共同研究の企画立案」(代表: 安成哲三, 分担: 浅沼 順) 3,500 千円
- H16-18 科研基盤研究 (B): 「積雪期を含めた水,熱,物質循環過程の総合化—琵琶湖プロジェクト第4ステージ」(代表: 田中賢治, 分担: 浅沼 順) 14,500 千円
- H16-17 アサヒビール学術振興財団研究助成: 「大気, 地表面間の熱, 水, CO₂ 輸送に関する時間-周波数解析」(代表: 浅沼 順) 700 千円
- H17-19 科研基盤研究 (C): 「大気中における熱,水蒸気,二酸化炭素輸送の時空間スケール解析」(代表: 浅沼 順) 3,700 千円
- H17-22 文部科学省特別教育研究経費: 「地球温暖化に伴う植生の変化が地下水涵養機構に与える影響に関する研究」(陸域環境研究センター) 36,768 千円 (ただし H17-21 の期間について)
- H20 北海道大学低温科学研究所共同研究研究集会: 「様々な土地被覆上の大気境界層過程に関する研究集会」(代表: 浅沼 順) 300 千円
- H20-22 科研基盤研究 (A): 「データレスキューによる 20 世紀におけるアジアモンスーン気候の復元」(代表: 松本 淳, 分担: 浅沼 順) 35,000 千円
- H21 筑波大学大学院生命環境科学研究科教育研究活動支援経費: 「「水の世紀」における水問題解決手法に関する知見の統合」(代表: 浅沼 順) 900 千円

1-3 草原生態系の微気象生態学的解析

本研究課題の総括・研究業績等は、センター運営委員であった及川武久筑波大学名誉教授が行ったものである。ここに記して、感謝の意を表する。

***** 総括 *****

陸域環境研究センターの C3/C4 植物が混成する実験草原を中心として、生態学と微気象学の両面から草原生態系の動態を実験的に解析し、得られた知見に基づいて草原生態系の環境形成作用を炭素・水・熱の観点からモデル開発を行った。

1) 生態学と微気象学の両面から草原生態系の動態を実験的に解析

陸域環境研究センターの実験草原には、生態学的特性が大きく異なる C3 植物と C4 植物とが混成している。この草原における植生動態を劉 厦・及川武久 (1993) 以来 10 年以上にわたって観測を続けてきた。その一部が横山智子ら (2004) による C3/C4 混生草原の LAI と地上部バイオマスの季節変化にまとめられている。春から初夏までの比較的涼しい間はセイタカアワダチソウに代表される C3 植物が優占し、暑さが厳しくなる真夏以降はススキ、チガヤに代表される C4 植物が優占するという、季節的な遷移現象が繰り返し観測されてきた。さらに、従来の研究は地上部のみの成長に焦点を当ててきたが、劉 建軍ら (2004) によって、地下部バイオマス（根の量）と成長量の季節変化をも初めて明らかにした。植物バイオマスに加えて、土壤有機物量も草原群落の遷移段階別に明らかにした (李 載錫・及川武久, 2004)。土壤からは植物の根の呼吸と土壤有機物の分解によって CO₂ が同時に放出されている。この両者を区別して測定することは技術的に非常に難しい課題である。この課題にチャレンジしたのが Wang *et al.* (2005) である。この研究で、草原内の数点で、土壤呼吸速度をチャンバー法で測ると同時に、その土壤に含まれる根を採取して、根の量と土壤呼吸速度との間の回帰式を算出し、この式から根の量がゼロになる時の土壤呼吸速度を外挿して求めた。これを土壤有機物のみの分解量に相当するものとした。

陸域環境研究センターの実験草原では、三枝信子ら (1995) 以来、微気象学的手法を用いて、草原全体の CO₂ 交換量や蒸発散量も観測してきた。特に、Li *et al.* (2005) によって、この草原の蒸発散量がどのような気候変数と関連が深いかが解析された。一方、CO₂ 交換量の季節変化に関しては、Shimoda *et al.* (2005) によって明らかにされた。さらに、前にも述べたように、この草原は C3/C4 混生草原であり、両タイプの優占度は季節的に大きく異なる。バイオマスのみならず両タイプの機能量を識別する一つの手法として、草原の夜間の生態系呼吸量に焦点を当て、渦相関法と大気炭素安定同位体手法を組み合わせ、両タイプの呼吸量の違いも分別することに成功した (下田ら, 2004; Shimoda *et al.*, 2009a, b)。

2) 得られた知見に基づいた草原生態系の炭素・水・熱の観点からのモデル開発

陸域環境研究センターの実験草原では、前述のように、バイオマスの季節変化のような生態学的調査と、草原のフラックス観測のような微気象学的手法に基づく観測とが、平行して進められてきた。この二つの異なった手法の成果を統合化するのが、このモデル開発の大きな狙いである。すなわち、生態学

的調査で得られるバイオマスの季節変化はほぼ月単位の情報であり、微気象学的手法で得られる CO₂ フラックスは 30 分～1 時間の情報である。従って、両者の間には時間解像度に 1000 倍もの開きがあり、この異なった二つの手法で得られた値の整合性は不明である。そこで Sim-CYCLE Fine と名付けられた 1 時間ステップのシミュレーションモデルを開発し、渦相関法で得られた CO₂ フラックスの再現を試みた (Lee *et al.*, 2005)。その結果、モデルから推定された 1 時間ごとの CO₂ フラックスは実測値と極めてよく一致した。このモデルに陸域環境研究センターで常時観測されている各種微気象データ (1 時間ごとの日射量や気温) を入力して、長時間積分した結果、求められた月別のバイオマスは実測値とよく一致して、生態学的調査と微気象学的手法の妥当性が確かめられた。しかも C3 植物と C4 植物、それぞれのバイオマスの季節変化も再現できたのである。

3) 関連した成果

陸域環境研究センターで培った人材と研究手法を他の草原生態系にも適用して、幾つかの研究成果を得た。

- 中国青海省の標高 3000m を超える高山草原を対象に、厳寒期を含む季節ごとに渦相関法に基づく CO₂ のフラックス観測を行った (Kato *et al.*, 2004a, b; 2005)。
- 放牧地として利用されているモンゴル中央部の草原を対象に、渦相関法による CO₂ のフラックス観測を行った (Li *et al.*, 2005)。さらに、同じ草原の家畜による grazing の影響をシミュレートするモデル開発を行った (Chen *et al.*, 2005)。

***** 研究業績 *****

●国際誌 (査読つき)

- Chen, Y., Lee, P., Lee, G., Mariko, S. and Oikawa, T. (2005): Simulating root responses to grazing of a Mongolian grassland ecosystem. *Plant Ecology*
- Kato, T., Hirota, M., Tang, Y., Cui, X., Li, Y., Zhao, X. and Oikawa, T. (2005): Strong temperature dependence and no moss photosynthesis in winter CO₂ flux for a Kobresia meadow on the Qinghai-Tibetan plateau. *Soil Biology and Biochemistry*, **37**, 1966-1969.
- Kato, T., Tang, Y., Gu, S., Hirota, M., Cui, X., Du, M., Li, Y., Zhao, X. and Oikawa, T. (2004a): Seasonal patterns of gross primary production and ecosystem respiration in an alpine meadow ecosystem on the Qinghai-Tibetan Plateau. *China. J. Geophys. Res. Atmos.*, **109**(D12), D12109, doi: 10.1029/2003 JD003951.
- Kato, T., Tang, Y., Gu, S., Cui, X., Hirota, M., Du, M., Li, Y., Zhao, X. and Oikawa, T. (2004b): Carbon dioxide exchange between the atmosphere and an alpine meadow ecosystem on the Qinghai-Tibetan Plateau. *China. Agric. For. Meteorol.*, **124**(1-2), 121-134.
- Lee, G., Lee, P., Kim, W. S. and Oikawa, T. (2005): Development and validation of hourly based Sim-CYCLE Fine in a temperate C3/C4 coexisting grassland. *Korean J. Biol.*, 353-363.
- Li, S., Asanuma, J., Eugster, W., Kotani, A., Liu, J.-J., Urano, T., Oikawa, T., Davaa, G., Oyunbaatar,

- D. and Sugita, M. (2005): Net ecosystem carbon dioxide exchange over grazed steppe in central Mongolia. *Global Change Biol.*, **11**, 1941-1955.
- Li, S., Lai, C., Lee, G., Shimoda, S., Yokoyama, T., Higuchi, A. and Oikawa, T. (2005): Evapotranspiration from a wet temperate grassland and its sensitivity to microenvironmental variables. *Hydrol. Process*, **19**, 517-532.
- Shimoda, S., Lee, G., Yokoyama, T., Liu, J., Saito, M. and Oikawa, T. (2009): Response of ecosystem CO₂ exchange to biomass productivity in a high yield grassland. *Environmental and Experimental Botany*, **65**, 425-431.
- Shimoda, S., Mo, W. and Oikawa, T. (2005): The effects of characteristics of Asian monsoon climate on inter-annual CO₂ exchange in a humid temperate C3/C4 co-occurring grassland. *SOLA*, **1**, 169-172.
- Shimoda, S., Murayama, S., Mo, W. and Oikawa, T. (2009): Seasonal contribution of C3 and C4 species to ecosystem respiration and photosynthesis estimated from isotopic measurements of atmospheric CO₂ at a grassland in Japan. *Agric. and Forest Met.*, **149**, 603-613.
- Wang, W., Ohse, K., Liu, J., Mo, W. and Oikawa, T. (2005): Contribution of root respiration to soil respiration in a C3/C4 mixed grassland. *J. Biosci.*, **30**, 507-514.

●紀要・報告書・解説・Proceedings等（査読なし）

- 下田星児・莫 文紅・村山昌平・高村近子・及川武久 (2004): 渦相関法と大気炭素安定同位体手法による夜間生態系呼吸量の細分化. 筑波大学陸域環境研究センター報告, **5**, 21-28.
- 濱田洋平 (2008): ススキ株の空間構造とその季節変化. 筑波大学陸域環境研究センター報告, **9**, 29-34.
- 横山智子・莫 文紅・及川武久 (2004): 陸域環境研究センター圃場における2003年のC3/C4混生草原のLAIと地上部バイオマスの季節変化. 筑波大学陸域環境研究センター報告, **5**, 119-128.
- 李 載錫・及川武久 (2004): 草原群落の遷移段階による土壌有機物量の違いについて. 筑波大学陸域環境研究センター報告, **5**, 115-118.
- 劉 建軍・莫 文紅・高村近子・及川武久 (2004): 陸域環境研究センター圃場におけるC3/C4混成草原の地下部バイオマスと成長量の季節変化. 筑波大学陸域環境研究センター報告, **5**, 13-20.

1-4 地球温暖化に伴う植生の変化が流域水循環に及ぼす影響に関する研究

***** 総括 *****

本研究課題は、文部科学省特別教育研究経費「地球温暖化に伴う植生の変化が地下水涵養機構に与える影響に関する研究」（平成 17 年度～平成 22 年度）による TERC プロジェクトの一環として実施された。

本研究課題では、陸域環境センターに隣接するアカマツ林地を対象として、植生遷移に関する調査が詳細に実施された。対象林地では 1985 年以降、二次林であるアカマツの衰退が著しく、これに替わってシラカシやヒサカキといった常緑広葉樹林へと、植生遷移が急速に進んでいることが明らかにされた (Iida *et al.*, 2005)。この植生遷移に伴う蒸散と降雨遮断プロセスの変化に関する研究 (Iida *et al.*, 2004a) や樹幹流発生の変化に関する研究 (Iida *et al.*, 2004b) が行われ、植生遷移に伴って林地の水収支を構成する要素間に量的変化が生じていることが明らかにされた。これらの研究結果を受け、本研究課題では樹幹流の浸透プロセスに焦点を当てた研究が数多く実施され、その実態が明らかにされた (Iida Tanaka *et al.*, 2004; Iida *et al.*, 2005a, 2005b, 松本, 2007)。また、樹種の違いによる樹幹流の差異が土壌水のポテンシャル分布に及ぼす影響や降下浸透、地下水涵養プロセスに与える影響に関する研究が精力的に行われた (角張, 2004; Tanaka *et al.*, 2005a, 2005b, 2006b, 2008)。これらの研究の延長として、樹種の違いが不飽和帯における水質分布に与える影響についての研究も実施され (Kakubari, 2007; 宮澤, 2007)、樹種の違いによる無機イオン濃度の差異とともに、樹幹流量の差異が不飽和帯の水質分布に大きな影響を与えていることが明らかにされた (Tanaka *et al.*, 2009)。

これらはいずれも、植生と水循環プロセスとの相互作用に焦点を当てた新たな研究テーマであり、近年世界の潮流になりつつある「生態水文学」の一翼を担うものである。こうした観点から、本研究課題では“International Workshop on Research Progress and Current Issues of Unsaturation Processes in Vadose Zone”を開催し、国内外における研究動向についての議論を深め、これを取りまとめた (Tanaka *et al.*, 2005)。

また、本研究課題では、森林流域における土壌水と河川水の水質形成機構 (Subagyono *et al.*, 2004, 2005, 2006)、森林土壌中における二酸化炭素濃度の測定法 (濱田・田中, 2008; Hamada and Oikawa, 2008)、乾燥・半乾燥地域における地下水の同位体特性と涵養機構 (Tanaka, *et al.*, 2005c; Tsujimura *et al.*, 2007)、湧水の水文化学的研究 (水尻ほか, 2006; 島野・藪崎, 2006, 2007; 島野ほか, 2007)、地下水資源の開発と管理 (Tanaka, 2006; 田中, 2006, 2008a, 2009a, 2009b) など、流域水循環に係わる多彩な研究が展開された。

本研究課題に関連して、過去 6 年間に公表された論文数は、国際誌 (査読つき) 8 編、国内誌 (査読つき) 11 編、その他の論文 (査読なし) 25 編、著書分担執筆等 9 件である。また、博士論文 1 件、修士論文 4 件、卒業論文 5 件が作成された。

***** 研究業績 *****

●国際誌 (査読つき)

- Askari, M., Tanaka, T., Setiawan, B.I. and Saptomo, S.K. (2008): Infiltration characteristics of tropical soil based on water retention data. *J. Jpn Soc. Hydrol. and Water Resour.*, **21**, 215-227.
- Chikirbene, A., Tsujimura, M., Charef, A. and Tanaka, T. (2009): Hydro-geochemical evolution of groundwater in an alluvial aquifer: Case of Kurokawa aquifer, Tochigi prefecture, Japan. *Desalination*, **246**, 485-495, doi: 10.1016/j.desal.2008.04.057.
- Iida, S., Tanaka, T. and Sugita, M. (2005): Change of interception process due to the succession from Japanese red pine to evergreen oak. *Jour. Hydrol.*, **315**, 154-166.
- Subagyono, K., Tanaka, T., Hamada, Y. and Tsujimura, M. (2005): Defining hydrochemical evolution of streamflow through flowpath dynamics in Kawakami headwater catchment, central Japan. *Hydrol. Process.*, **19**, 1939-1965.
- Tanaka, T., Iida, S., Kakubari, J. and Hamada, Y. (2008): Effect of forest stand and succession from conifer trees to broad-leaved evergreen trees on infiltration and groundwater recharge processes. *IAHS Publ.*, no. 321, 54-60.
- Tsujimura, M., Abe, Y., Tanaka, T., Shimada, J., Higuchi, S., Yamanaka, T., Davaa, G. and Oyunbaatar, D. (2007): Stable isotopic and geochemical characteristics of groundwater in Kherlen River basin, a semi-arid region in eastern Mongolia. *Jour. Hydrol.*, **333**, 47-57.
- Yuita, K., Kihou, N., Yabusaki, S., Takahashi, Y., Saitoh, T., Tsumura, A. and Ichihashi, H. (2005): Behavior of iodine in a forest plot, an upland field and a paddy field in the upland area of Tsukuba, Japan. Iodine concentration in precipitation, irrigation water, ponding water and soil water to a depth of 2.5 m. *Soil Science and Plant Nutrition*, **51**, 1011-1021.
- Yuita, K., Kihou, N., Ichihashi, H., Yabusaki, S., Fujiwara, H., Kurishima, K. and Noda, T. (2006): Behavior of iodine in a forest plot, an upland field and a paddy field in the upland area of Tsukuba, Japan: Seasonal variations in iodine concentration in precipitation and soil water and estimation of the annual iodine accumulative amount in soil horizons. *Soil Science and Plant Nutrition*, **52**, 122-132.

●国内誌 (査読つき)

- 飯田真一・中谷 壮・田中 正 (2006): 山地減流域の落葉広葉樹林における樹液流速測定に基づく林分蒸散量の評価. *水文・水資源学会誌*, **19**, 7-16.
- 飯田真一・角張順一・田中 正・濱田洋平・林 敦史 (2008): アカマツ・シラカシ二次林において観測された樹木の吸水深度. *関東森林研究*, **59**, 261-264.
- 島野安雄・藪崎志穂 (2006): 名水を訪ねて (73) 佐賀県の名水. *地下水学会誌*, **48**, 113-124.
- 島野安雄・藪崎志穂・辻村真貴 (2007): 名水を訪ねて (76) 島根県の名水. *地下水学会誌*, **49**, 59-71.

- 田中 正 (2006): 公害防止条例と地方分権. 環境研究, **142**, 168-172.
- 田中 正 (2008a): 地下水利用の現状と規制. 空気調和・衛生工学, **82**, 823-830.
- 田中 正 (2008b): 温泉と地下水の接点. 温泉科学, **58**, 148-156.
- 田中 正 (2009a): 地下水流動システムと地下水利用のありかた. 都市問題研究, **61**(7), 16-27.
- 田中 正 (2009b): 今後望まれる地下水利用方策. 河川レビュー, No. 146, 12-19.
- 濱田洋平・田中 正 (2008): 厚い土層中における CO₂ 濃度および地温の多深度同時測定. 日林誌, **90**, 415-419.
- Hamada, Y. and Oikawa, T. (2008): Reliability of the soil gas profiles measured with a multilevel soil air sampler. 農業気象, **64**, 295-300.

●**紀要・報告書・解説・Proceedings 等 (査読なし)**

- 井岡聖一郎・野原大輔・田中 正・浅沼 順・山中 勤 (2004): 陸域環境研究センターにおける地下水
位長期観測データについて. 筑波大学陸域環境研究センター報告, **5**, 99-101.
- 島野安雄・藪崎志穂 (2007): 山陰の大山・三瓶山周辺地域の湧水の水文化的研究. 文星紀要, **18**, 31-64.
- 田中 正 (2006): 陸域環境研究センターの現状と今後の展望. 筑波フォーラム, **73**, 60-63.
- 田中 正 (2008): 水循環の視点から見た温泉水の起源. 第 48 回温泉経営管理研修会テキスト, 中央温泉
研究所, 10-1 – 10-8.
- 濱田洋平・飯田真一・林 敦史・角張順一・田中 正 (2006): カラマツ人口林および天然広葉樹林の長
期的な林分生長量. 筑波大学演習林報告, **22**, 33-44.
- 水尻正博・藪崎志穂・田瀬則雄・辻村真貴 (2006): 茨城県つくば市における湧水の特徴. 筑波大学陸域環
境研究センター報告, **7**, 15-29.
- 藪崎志穂・田瀬則雄・萩野谷成徳 (2005): 陸域環境研究センターにおける蒸発散量推定法の検討. 筑波大
学陸域環境研究センター報告, **6**, 45-51.
- 藪崎志穂・田中 正・福島武彦・浅沼 順・飯田真一 (2006): 霞ヶ浦流域における河川水の水質・流量
特性について. 筑波大学陸域環境研究センター報告, **7**, 3-13.
- Hamada, Y. and Tanaka, T. (2005): Characteristics of diurnal change of soil water potential in a
forested soil. *Proc. Int. Workshop on Research Progress and Current Issue of Unsaturation
Processes in Vadose zone*, TERC, Univ. Tsukuba, 1-4.
- Iida, S., Tanaka, T. and Sugita, M. (2004b): Change of stemflow generation due to the succession
from Japanese red pine to evergreen oak. *Ann. Rep., Inst. Geosci., Univ. Tsukuba*, **30**, 15-20.
- Iida, S., Kakubari, J. and Tanaka, T. (2005a): “Litter marks” indicating infiltration area of
stemflow-induced water. *Tsukuba Geoenviron. Sci.*, **1**, 27-31.
- Iida, S., Suzuki, A. and Tanaka, T. (2005b): Infiltration area of stemflow-induced water around
Formosa Sweet Gum and Japanese Zelkova. *Proc. Int. Workshop on Research Progress and
Current Issue of Unsaturation Processes in Vadose zone*, TERC, Univ. Tsukuba, 21-24.
- Subagyono, K. and Tanaka, T. (2005): The role of slope and soil thickness on dynamic of soil water

- and its chemistry in hillslope area. *Proc. Int. Workshop on Research Progress and Current Issue of Unsaturation Processes in Vadose zone*, TERC, Univ. Tsukuba, 45-50.
- Tanaka, T. (2005): Ecohydrological water use and water management in the island of Bali, Indonesia. *Proc. Int. Symposium on Ecohydrology, UNESCO IHP-VI Tech. Documents in Hydrology*, No.4, 207-211.
- Tanaka, T. ed. (2005): *Proceedings of International Workshop on Research Progress and Current Issue of Unsaturation Processes in Vadose Zone*. TERC Univ. Tsukuba, 64p.
- Tanaka, T. (2006): Groundwater resources, development and management in the Kanto Plain, the largest tectonic sedimentary basin in Japan. *Proc. Int. Workshop on Water Cycle and Sustainable Use of Water Resources*, Center for Agricultural Resources Research, CAS, 183-189.
- Tanaka, T. (2008): Groundwater use in earthquake emergency: A case study in Japan. *Proc. World Water Congress*, Montpellier, France, CD-ROM, 4p.
- Tanaka, T., Iida, S., Kakubari, J. and Hamada, Y. (2004): Evidence of infiltration phenomena due to the stemflow-induced water. *Ann. Rep., Inst. Geosci., Univ. Tsukuba*, **30**, 9-14.
- Tanaka, T., Iida, S., Kakubari, S. and Hamada, Y. (2005a): The role of stemflow inputs in infiltration/percolation and groundwater recharge processes in a forested catchment. *Hydrology, Ecology and Water Resources, Int. Conf. Headwater Control VI*, CD-ROM, 9p.
- Tanaka, T., Kakubari, J., Iida, S. and Hamada, Y. (2005b): Effect of succession from Japanese red pine to evergreen oak on unsaturation process in a vadose zone. *Proc. Int. Workshop on Research Progress and Current Issue of Unsaturation Processes in Vadose zone*, TERC, Univ. Tsukuba, 51-54.
- Tanaka, T., Abe, Y. and Tsujimura, M. (2005c): Groundwater recharge process in the Kherlen river basin, eastern Mongolia. *Bull. Terres. Environ. Res. Cent. Univ. Tsukuba, No.5 Suppl.*, 12-15.
- Tanaka, T., Abe, Y. and Tsujimura, M. (2006a): Characteristics of infiltration/percolation and groundwater recharge processes in arid and semi-arid regions. *Abstract of Tunisian-Japan Symposium on Society, Science and Technology*, 43.
- Tanaka, T., Iida, S., Kakubari, J. and Hamada, Y. (2006b): Effect of forest stands succession on groundwater recharge process due to global warming. *Proc. Int. Conf. on Hydrology and Ecology: The Groundwater/Ecology Connection*, Czech Association of Hydrogeologist, 87-90.
- Tanaka, T., Kakubari, J., Hamada, Y. and Iida, S. (2009): Effect of plant species on distribution of water quality in a vadose zone. *Proc. 2nd Int. Multidisciplinary Conf. on Hydrol. and Ecology: Ecosystems Interfacing with Groundwater and Surface Water*, 49-52.
- Yang, Y., Tanaka, T., Zhang, X. and Luo, G. (2005): Groundwater recharge from precipitation in agricultural field in the piedmont region of the Taihang mountains, China. *Proc. Int. Workshop on Research Progress and Current Issue of Unsaturation Processes in Vadose zone*, TERC, Univ.

Tsukuba, 33-43.

●著書 (分担執筆等)

杉田倫明・田中 正編著・筑波大学水文科学研究室著 (2009): 「水文科学」. 共立出版, 296p.

田中 正 (2007): 第9章「水循環システムとは何か」. 松岡憲知・ほか編「地球環境学」, 古今書院, 33-36..

濱田洋平 (2009): 第5章2節「地表面に到達した降雨の分配」. 杉田倫明・田中 正編著・筑波大学水文科学研究室著「水文科学」, 共立出版, 117-131.

Hamada, Y., Iida, S. and Tanaka, T. (2004): Diurnal change of soil water potential during prolonged drying processes. In Sidle, R.C. *et al.* eds. *Forest and Water in Warm, Humid Asia, DPRI, Kyoto Univ*, 103-106.

Iida, S., Tanaka, T. and Sugita, M. (2004a): The change of transpiration and interception process due to the succession from Japanese red pine to evergreen oak. In Sidle, R.C. *et al.* eds. *Forest and Water in Warm, Humid Asia, DPRI, Kyoto Univ*, 41-44.

Subagyono, K. and Tanaka, T. (2004): Calcium(Ca^{2+}) deterioration under the subsurface runoff in Kawakami forested head water catchment, central Japan. In Sidle, R.C. *et al.* eds. *Forest and Water in Warm, Humid Asia, DPRI, Kyoto Univ*, 154-157.

Subagyono, K., Tanaka, T. and Tsujimura, M. (2006): Calcium (Ca^{2+}) deterioration under the subsurface runoff in a forested headwater catchment. In Wing-Huen Ip ed.: *Advances in Geosciences Vol. 4 Hydrological Sciences*, Scientific Publishing Co., Singapore, 261-269.

Tanaka, T. (2007): Groundwater resources, development and management in the large tectonic sedimentary basin, Japan. In Brebbia, C. A. and Kungolos, A. G. eds. *Water Resources Management IV*, WIT Press, 337-344.

Tanaka, T., Mori, M., Tsujimura, m., Hamada, Y., Subagyono, K. and Iida, S. (2004): Relationship between mean residence time of stream water and wetness condition in a forested headwater catchment, central Japan. In Sidle, R.C. *et al.* eds. *Forest and Water in Warm, Humid Asia, DPRI, Kyoto Univ*, 115-118.

●招待講演

田中 正 (2006): 公害防止行政 (環境常時監視等) と地方分権. 国際比較環境法センターワークショップ, 国際比較環境法センター, 東京, 2月.

田中 正 (2008): 温泉と地下水の接点. 日本温泉科学会第61回大会, 茨城県五浦, 9月25日.

田中 正 (2008): 統合的流域管理—地下水循環系が果たす役割—. 農業農村工学会第21回水文・水環境研究部会シンポジウム, つくば国際会議場, 12月4日.

田中 正 (2009): 現代地下水管理に求められるもの—グローバルな視点から地域貢献への絞込みまで—. 産業技術連携推進会議第2回地圏環境分科会・地下水研究会・土壌汚染研究会, 札幌, 2月13日.

藪崎志穂 (2007): 安定同位体を用いた不飽和帯における地中水の挙動について. 水の酸素・水素安定同位体研究会, 名古屋大, 2月27~28日.

Tanaka, T. (2004): Groundwater resources, development and management in the Kanto Plain, Japan. 2004 Tsukuba Asian Seminar on Agricultural Education, University of Tsukuba, November.

Tanaka, T. (2007): Groundwater use in earthquake emergency: A case of Kobe earthquake in Japan. Working Group of IHP VI Project on Groundwater for Emergency Situations (GWES), Tsukuba, July.

Tanaka, T., Tsujimura, M. and Yamanaka, T. (2008): Characteristics of infiltration and groundwater recharge processes in arid and semi-arid regions. UNESCO Chair Workshop 2008, Ulaanbaatar, Mongolia, 1 Oct., 2008.

Tanaka, T. (2008): Emergency groundwater resources after earthquake. Toyama Meeting of Working Group of IHP VI Project on Groundwater for Emergency Situations (GWES), Toyama, 30 Oct., 2008.

Tanaka, T. (2009): Japanese experiences in dealing with capacity buildings and corporate social responsibility for watershed management. International Workshop on Capacity Building for watershed Management, Bogor, Indonesia, 21 July.

●博士論文

Muhamad, Askari (2010): Infiltration and soil water movement underneath Japanese red pine and oak trees. 148p. (筑波大学生命環境科学研究科)

●修士論文

Kakubari, Jun'ichi (2007): Effect of vegetation species difference on percolation and soil solution processes. 70p. (筑波大学生命環境科学研究科)

Tanaka, Aya (2007): Occurrence of hydraulic lift in temperate humid region. 45p. (筑波大学生命環境科学研究科)

Hayashi, Atsushi (2008): Influence of Japanese red pine and evergreen oak trees on soil water balance. 79p. (筑波大学生命環境科学研究科)

Miyazawa, Takanori (2009): Flow Pathway of Infiltrating Water Induced by Stemflow of Different Vegetation Species. 117p. (筑波大学生命環境科学研究科)

●卒業論文

角張順一 (2004): 樹種の違いが地下水涵養プロセスに及ぼす影響. 54p. (筑波大学自然学類)

原田直幸 (2007): 1882年(明治15年)の東京府下における地下水位(頭)の復元. 36p. (筑波大学自然学類)

松本 剛 (2007): 樹幹流の浸透範囲の時空間分布について. 42p. (筑波大学自然学類)

宮澤隆則 (2007): 樹種の違いが樹幹流の無機水質成分に及ぼす影響. 43p. (筑波大学自然学類)

温山陽介 (2009): 東京都板橋区・成増台における湧水の湧出機構. 55p. (筑波大学自然学類)

******* 競争的外部資金 *******

(科学研究費等)

H13-18 科学技術振興機構戦略的創造研究推進事業 (CREST): 「北東アジアの植生変遷域の水循環と生物, 大気圏の相互作用の解明」 (代表: 杉田倫明, 分担: 木村富士男, 浅沼 順, 田中 正, 山中 勤) 69,534 千円 (ただし H16-18 の期間について) (再掲)

H17-22 文部科学省特別教育研究経費: 「地球温暖化に伴う植生の変化が地下水涵養機構に与える影響に関する研究」 (陸域環境研究センター) 36,768 千円 (ただし H17-21 の期間について) (再掲)

H21 筑波大学大学院生命環境科学研究科教育研究活動支援経費: 「中部山岳地域の環境変動の解明に関する研究」 (代表: 田中 正, 分担: 木村富士男, 浅沼 順, 山中 勤) 900 千円

1-5 陸域における水蒸気輸送と降水の変動予測に関する研究

***** 総括 *****

本研究課題は、概算要求事項に係わる特別教育研究経費による TERC プロジェクトの一部として実施された。ここでは主に、その結果を中心にとりまとめを行った。

まず、関東平野を対象に 1978 年から 2008 年までの夏期の地上気温、日射量、蒸発散量などを含む高解像度気候モデル (TERC-RAMS) による再現実験を行った。都市・居住地域では植生が少なく、蒸発散が抑制されるため顕熱が相対的に増大し、また人間活動による人工排熱の効果による気温の上昇 (ヒートアイランド効果) があるため、過去の土地利用の変化を国土地理院の細密な情報をもとに、モデルの陸面過程モデルに入力した。TERC-RAMS は気候変動を扱う数値モデルとしては極めて解像度が高く 3km の解像度を持つが、上記の細密な情報を取り込むため、1 格子内における土地利用割合を入力し、顕潜熱フラックスを面積割合に応じて算出する構造とした。これに対応して格子点の地表面物理量は、土地利用区分ごとに計算した。都市については構造物の熱特性を考えた都市キャノピーモデルによる熱・水蒸気収支を考慮し、植生地面については、土地利用・植生に応じた特性を持つキャノピーモデルを適用した。土壌水分については、11 層の土壌モデルにより温度分布と水分量分布を再現している。

再現計算された地上気象要素は、月平均値、時間帯別平均値として、アメダス観測と比較され、また 1 時間気温の気温別出現頻度分布を観測と比較することで、極値の再現精度の確認を実施した。

関東平野の夏期には、アメダス観測期間の前半と後半では、平均気温の上昇が観測されているが、その間に土地利用も変化しているため、大規模場の変化による気温変化と土地利用の変化による気温変化を別々に見積もった。

再現計算の結果は月平均気温および月平均の気温の日変化は、大手町などの一部の観測点を除いて、良く一致した。日射量はやや過大、降水量はわずかに過小見積もりである。過去の気温変化については、変化の幅が小さいため、日中については過小見積もりとなっているが、夜間については、ほぼ過去の変化を再現している。

過去の変化について、特に観測と良く一致する夜間について解析し、土地利用の変化を考慮しない実験と比較した。この結果、都県別の観測点平均でみた過去 30 年間の気温変化のおおよそ 80% 程度は気候の変化によるもので、土地利用の変化による寄与は 20% 程度であることが示された。この気候変化はアメダス観測期間約 30 年の前半と後半の差であり、必ずしも温室気体の増大による変化とは限らないので注意が必要である。

これらの再現結果をもとに、複数の大気大循環モデルにより予測された 2070 年代までの気候変化を、疑似温暖化の手法により TERC-RAMS に適用し、3km 格子での将来の気温変化の予測を実施した。この予測には長大な計算時間がかかるため、地球環境研究総合推進費の予測計画の一部として実施された。温室気体の排出量は SERS の A2 シナリオに基づいている。これによると、関東平野の各地点の気温は 3 度程度上昇するが、上昇幅は大気大循環モデルによって大きく異なり、予測の不確実性のかなりの部分は、大気大循環モデルの不確実性から来ることが示された。地域分布としては、東関東でやや気温上昇

が低く、関東平野内陸の北東部でやや大きい傾向が示された。

***** 研究業績 *****

●国際誌 (査読つき)

- Fujita, M., Kimura, F., Yoneyama, K. and Yoshizaki, M. (2008): Verification of precipitable water vapor estimated from shipborne GPS measurements. *Geophys. Res. Lett.*, **35**, 13, doi: 10.1029/2008GL033764.
- Hara, M., Yoshikane, T., Kawase, H. and Kimura, F. (2008): Impact of the estimation of global warming on snow depth in Japan by the pseudo-global-warming method. *Hydrological Research Letters*, **2**, 61-64.
- Iizumi, T., Hayashi, Y. and Kimura, F. (2006): Influence on rice production in Japan from cool and hot summers after global warming. *Journal of Agricultural Meteorology*, **63**, 11-23.
- Iizumi, T., Hori, M. E., Yokozawa, M., Nakagawa, H., Hayashi, Y. and Kimura, F. (2007): Impact of global warming on rice production in Japan based on five coupled Atmosphere-Ocean GCMs. *SOLA*, **2**, 156-159.
- Iizumi, T., Yokozawa, M., Hayashi, Y. and Kimura, F. (2008): Climate change impact on rice insurance payouts in Japan. *J. Appl. Meteor. Climatol.*, **47**, 2265-2278. doi: 10.1175/2008JAMC1800.1.
- Inoue, T. and Kimura, F. (2004): Urban effects on low-level clouds around the Tokyo metropolitan area on clear summer days. *Geophys. Res. Lett.*, **31**, L05103, doi: 10.1029/2003GL018908. referenced by IPCC Fourth Assessment Report, Working Group I : Chapter 3.
- Inoue, T. and Kimura, F. (2007): Numerical experiments on fair-weather clouds forming over the urban area in northern Tokyo. *SOLA*, **3**, 125-128.
- Kawase, H., Sato, T. and Kimura, F. (2005): Numerical experiments on cloud streets in the lee of island arcs during cold-air outbreaks. *Geophys. Res. Lett.*, **32**, L14823 doi: 10.1029/2005GL023256.
- Kawase, H., Takeuchi, Y. and Kimura, F. (2006): Precipitable water vapor round orographically induced convergence line. *SOLA*, **2**, 25-28.
- Kawase, H., Yoshikane, T., Hara, M., Kimura, F., Ohsawa, S. and Sato, T. (2007): Impact of extensive irrigation on the formation of cumulus clouds. *Geophys. Res. Lett.*, **35**, L01806, doi: 10.1029/2007GL032435.
- Kusaka, H. and Kimura, F. (2004): Coupling a single-layer urban canopy model with a simple atmospheric model : impact on urban heat island simulation for an idealized case. *J. Meteor. Soc. Japan*, **82**, 67-80.
- Kusaka, H. and Kimura, F. (2004): Thermal effect of urban canyon structure on the nocturnal heat

island : numerical experiment using a mesoscale model coupled with an Urban Canopy Model. *J. Appl. Meteor.*, **43**, 1899-1910.

Li, G., Kimura, F., Sato, T. and Huang, D. (2007): A composite analysis of diurnal cycle of GPS precipitable water vapor in central Japan during calm summer days. *Theor. Appl. Climatol.*, doi: 10.1007/s00704-006-0293-x.

Sato, T. and Kimura, F. (2005): Diurnal cycle of convective instability around the central mountains in Japan during the warm season. *J. Atmos. Sci.*, **62-5**, 1626 - 1636.

Yoshikane, T. and Kimura, F. (2005): Climatic features of the water vapor transport around east Asia and rainfall over Japan in June and September. *Geophys. Res. Lett.*, **32**, L18712, doi: 10.1029/2005GL023665.

●国内誌 (査読つき)

川瀬宏明・木村富士男 (2004): 冬の日本列島南海上に見られる筋状雲の出現特性. 地理学評論, **78**, 147-159.

佐藤友徳・寺島 司・井上忠雄・木村富士男 (2006): 東京都市域における夏季の降水システムの強化. 天気, **53**, 479-484.

●紀要・報告書・解説・Proceedings 等 (査読なし)

井上忠雄・仲田伸也・寺島 司・木村富士男 (2004): 写真観測と衛星で捉えた都市に出現する対流雲. 天気, **51**, 653-654.

木村富士男 (2004): 日本気象学会 2003 年度春季大会シンポジウム「ヒートアイランド・熱帯夜の熱収支」の報告. 天気, **51**, 87-89.

木村富士男 (2007): 湿った局地循環 創立 125 周年解説. 天気, **54**, 279-282.

日下博幸・木村富士男 (2004): 日本気象学会 2003 年度春季大会シンポジウム「ヒートアイランド・熱帯夜の熱収支」の報告, 都市気象モデルからみた熱帯夜の形成機構-都市の凸凹効果の検討. 天気, **51**, 95-99.

●招待講演

飯泉仁之直・林 陽生・木村富士男 (2006): MRI-GCM・SRES-A2 シナリオに基づく日本の水稲収量への温暖化影響. 気候影響・利用研究会シンポジウム, 大阪, 20 Mar., 2006.

木村富士男 (2005): 領域モデルによる温暖化のダウンスケーリング. 気候影響・利用研究会シンポジウム, つくば, 29 Nov., 2005.

●博士論文

Sasaki, Taichi (2005): Observational Studies on Diurnal Moisture Transport in Several Mountainous Regions. 125p. (筑波大学生命環境科学研究科)

Inoue, Tadao (2008): Fair-Weather Cumulus Clouds Forming over the Urban Area in Northern Tokyo. 85p. (筑波大学生命環境科学研究科)

●修士論文

川瀬宏明 (2005): 数値モデルによる冬季日本列島南海上に見られる太い筋状雲の発生メカニズムの研究. 49p. (筑波大学生命環境科学研究科)

寺島 司 (2005): 東京都域における夏季の対流性降水の急速な発達. 47p. (筑波大学環境科学研究科)

加藤祐平 (2006): 都市周辺農地によるヒートアイランド緩和効果. 37p. (筑波大学環境科学研究科)

高安壮太 (2006): 衛星および地上設置リモートセンサーを用いた台風の降水と風の解析. 55p. (筑波大学環境科学研究科)

仲田伸也 (2006): 都市上空で見られる小積雲の発生要因. 67p. (筑波大学環境科学研究科)

江原正彦 (2007): 領域気候モデルを用いた台風 0423 号の内部構造の変化. 37p. (筑波大学環境科学研究科)

斎藤 誠 (2007): 水田による都市気候の緩和効果. 67p. (筑波大学環境科学研究科)

田中友里愛 (2007): 沖縄辺戸岬における有機エアロゾルの化学成分. 76p. (筑波大学環境科学研究科)

筒井謙一 (2007): 夏季の積雲対流活動に伴う落雷の極性と空間分布. 103p. (筑波大学環境科学研究科)

加藤洋樹 (2008): 夏季の関東中部地方における対流性降水の地球温暖化による変化に関する数値実験. 33p (筑波大学環境科学研究科)

村上雅則 (2008): アメダスの気温の空間代表性に関する観測的研究. 56p (筑波大学環境科学研究科)

伊熊結以 (2009): 帯状平均場を境界値に用いた梅雨前線帯の気候変化予測実験. 57p. (筑波大学生命環境科学研究科)

磯部裕介 (2009): 緑地の減少や地球温暖化による地上気温の変化に関する数値実験. 79p. (筑波大学生命環境科学研究科)

市毛 智 (2009): 低層住宅街における気温分布の不均質性とその要因. 78p. (筑波大学生命環境科学研究科)

猪野智成 (2009): 関東地方における気温の出現頻度とその経年変化. 47p. (筑波大学生命環境科学研究科)

小松恭子 (2009): 夏の晴天日に北関東で観測される高温現象のメカニズム. 34p. (筑波大学生命環境科学研究科)

田中美紀 (2009): 降雪量の経年変化と将来予測. 35p. (筑波大学生命環境科学研究科)

●卒業論文

木内保太 (2005): 都市の温暖化が雲の形成に及ぼす影響. 56p. (筑波大学自然学類)

佃 英明 (2005): 関東地方の冬季降水における南岸低気圧の通過位置と降水形態の関係. 19p. (筑波大学自然学類)

筒井謙一 (2005): GPS 可降水量と落雷の時空間変動からみた豪雨. 75p. (筑波大学自然学類)

渡部龍典 (2005): 東北地方における脊梁山脈の起伏と風下に降雪をもたらす風の関係. 44p. (筑波大学自

然学類)

- 安藤博毅 (2006): 都市近郊農地による気温上昇抑制効果. 41p.(筑波大学自然科学類)
- 内山菜穂子 (2006): 関東都市域における夏期の対流性降水に関する数値実験. 56p. (筑波大学自然科学類)
- 笠井智子 (2006): 晴天日におけるサーマルとアーベントテルミックについて. 42p. (筑波大学自然科学類)
- 今田佐和子 (2006): 都市上空で発生する小積雲の衛星画像解析. 60p. (筑波大学自然科学類)
- 谷村研人 (2006): 2001年9月21日関東地方を通過した降水系の構造解析. 38p. (筑波大学自然科学類)
- 市毛 智 (2007): 舗装の違いが下層大気に及ぼす熱的影響. 44p. (筑波大学自然科学類)
- 後藤啓太 (2007): 梅雨期及び秋雨期の GPS 可降水量と水蒸気輸送. 47p. (筑波大学自然科学類)
- 中河内雅加 (2007): 都市と農地境界付近におけるヒートアイランドの精密観測. 64p. (筑波大学自然科学類)
- 岩根賢幸 (2008): 水平分解能 1 km の雲解像度モデルを用いた竜巻をもたらした親雲の再現性について
の研究. 47p. (筑波大学自然科学類)
- 川口 純 (2008): ヤマセ卓越時の北上盆地での南風の解析. 59p. (筑波大学自然科学類)
- 下田清貴 (2008): 疑似温暖化手法を用いた台風の変化予想. 21p. (筑波大学自然科学類)
- 杉村友希 (2008): 甲府盆地の気温変化の特徴-夏季晴天日における盆地と関東周辺域との比較-. 21p. (筑
波大学自然科学類)
- 山下大地 (2008): 竜巻を生み出す積乱雲の発生環境に関する統計的研究. 49p. (筑波大学自然科学類)
- 大島一洋 (2009): 冬の南岸低気圧の発生と経路の経年変化. 38p. (筑波大学自然科学類)
- 佐々木尚生 (2009): 関東地域における地上オゾンの時間変動に関する研究: 1980-2005年のモデル解析.
35p. (筑波大学自然科学類)
- 宮腰洋樹 (2009): 関東平野におけるアメダス観測点の周辺環境と夏季の気温. 22p. (筑波大学自然科学類)
- 宮島純也 (2009): 西日本における強い降水の経年変化の地域的特徴とその要因. 32p. (筑波大学自然科学類)

***** 競争的外部資金 *****

(科学研究費等)

- H17-22 文部科学省特別教育研究経費:「地球温暖化に伴う植生の変化が地下水涵養機構に与える影響に
関する研究」(陸域環境研究センター) 36,768 千円 (ただし H17-21 の期間について) (再掲)

1-6 環境同位体を用いた水・物質循環トレーシング

***** 総括 *****

本研究領域は、地表面—大気間の水・物質交換過程と流域規模あるいは大陸・地球規模の陸域環境変動とを結びつけて考えるために、天然に存在する同位体（環境同位体）等のトレーサーを用いて、様々な場の条件下における水・物質循環系の時空間構造（起源・輸送経路・輸送量・滞留時間など）を明らかにすることを目的としたものである。これらの目的を達成するため、本センター所有の設備を利用して基礎研究および手法開発を行ったほか、日本や世界の各地において実証研究を実施した。また、環境循環系診断のための各種同位体トレーサー技術を総覧し、新たな展開の可能性を探るため、国内の著名研究者を招聘してワークショップを開催した。そこでの発表論文 10 編は本センター電子モノグラフ（山中, 2006a）として取り纏められている。さらに、同位体トレーサー技術と地理情報システムなどを効果的に結びつけ応用範囲を飛躍的に拡大させた Isoscape アプローチの世界的推進者である Gabriel Bowen（Purdue University, USA）を招聘し、公開セミナーを開催するとともに今後の研究の方向性を討議した。

本研究領域における研究内容は、①水文気象学、②生態水文学、③地下水水文学、の 3 分野に大別することができる。以下に、各分野における成果の概要を記す。

1) 水文気象学分野

降水や水蒸気同位体組成を用いて、大気水循環の詳細過程や降水再循環率を明らかにする研究が実施された。まず、中国およびモンゴルにおいて、降水同位体変動特性が調べられ、水蒸気の起源や大気中の水輸送経路との関連性が明らかにされた（Yamanaka *et al.*, 2004b, 2007c）。また、蒸発散過程における水蒸気同位体組成の形成メカニズムと変動特性が野外観測によって明らかにされた（清水・山中, 2005; Li *et al.*, 2006; Tsujimura *et al.*, 2007b; Yamanaka and Tsunakawa, 2007）。これらの研究成果に基づき、降水や水蒸気の供給源を同定し混合率を定量化する手法が開発された（Sato *et al.*, 2007; Yamanaka and Shimizu, 2007）。これらの手法による推定結果は、ローカル起源の水蒸気よりもむしろ外部起源水蒸気の寄与が大きいことを示唆しており、外部起源水蒸気の変動によって陸域の水循環が受動的に応答するという物理的手法に基づく研究から得られた知見（Yamanaka *et al.*, 2007a, b; Kaihotsu *et al.*, 2009）と整合的であった。

以上の研究を遂行するにあたって、同位体分析用の降水・水蒸気サンプルを採取するための新たな手法が開発され、本センターの観測施設を利用して検証がなされた（若本・山中, 2004; 綱川・山中, 2005）。また、同位体水文学の基礎理論を再検討し、詳細な野外観測によって検証する試みもなされた（清水, 2005; 矢野, 2005; 恩田, 2006; 野村, 2006; 矢野ほか, 2006; Shimizu, 2007; Onda, 2008）。さらに、学外の研究者との共同で、既往研究のレビューが行われた（檜山ほか, 2008）。

TERC プロジェクトとしては、同位体トレーサー技術の定礎をなす Craig-Gordon モデルを野外条件下で検証すべく、牛久沼に湖上観測システムを構築してモニタリングを行った。その結果、動的同位体

分別係数の新たなパラメタリゼーションスキームが導出された。また、そのスキームを用いた湖沼水収支推定法を構築し、豪雨時を除けば、物理的計測による観測値と良い一致を示すという結果が得られた。

2) 生態水文学分野

根系吸水過程では同位体分別は生じないため、土壌水と植物体内水の同位体組成を照合することにより吸水深度を特定することができ、また植物種ごとの水利用戦略を明らかにすることができる。こうした原理にもとづいて、まず植物体内水の同位体分析に関する技術的問題が検討され（飯塚ほか、2004）、引き続き様々な種の水利用戦略とその環境条件との関連性に関する研究がなされた（山中ほか、2006; 松尾、2006; Li *et al.*, 2007a, b; Matsuo, 2008）。これらの研究により、日本のような温帯湿潤気候下にあっても、共存植物種間で水資源の使い分け（水源分化）が生じていることが明らかになり、また競争相手との生態学的優劣関係によって弱者の側が水源を変更するという仮説が導き出された。さらに、吸水密度プロファイルを逆解析によって推定するアルゴリズムが開発され、様々な試験サイトの比較研究によってこの仮説の妥当性が確認された（Yamanaka *et al.*, 2008a）。現在では、さらに多様な地理条件・植生条件のもとでの観測データを蓄積するため、中部山岳をはじめとする森林域において多数の事例研究が進められつつある。

このほか、蒸発と蒸散を分離する試みがモンゴルと日本において実施され、モンゴルの短草草原と比較して日本の長草草原では蒸散成分が格段に多いことが示された（Yamanaka and Tsunakawa, 2007; Tsujimura *et al.*, 2007b）。本センターの熱収支・水収支観測圃場においては、蒸発散に占める蒸散の割合は LAI の累乗関数で近似的に表現でき、有効放射エネルギーに占める潜熱フラックスの割合と高い相関を有するという結果も得られている（Yamanaka and Tsunakawa, 2007）。これらの結果は、物理的手法によって植生状況と水フラックスの間の強い関係性を示した研究結果（山中ほか、2005; Yamanaka *et al.*, 2007b; 平田ほか、2009）とも整合的である。こうした同位体トレーサー手法の高度化に当たっては、物理的手法による水蒸気輸送メカニズムの実験研究も並行して実施された（Yamanaka *et al.*, 2004a）。

TERC プロジェクトとしては、植物種ごとの吸水特性を明らかにするため、本センター、農林技術センター、および菅平高原実験センターに観測サイトを設定し、複数個所・複数深度に土壌水分測定・採取装置を設置した。研究の結果から、植生遷移に伴って水源変更が生じている可能性が見出された。このことは、温暖化による樹種構成の変化が新たな種間相互作用をもたらすことを意味しており、それらを含めて地下水涵養量の変化予測を行う必要があることが示唆された。

3) 地下水水文学分野

地下水の涵養高度の推定や流動系区分を目的とした同位体トレーサー研究が従来数多く行われてきたが、複数の地下水涵養源からの寄与率評価（涌井、2005; 涌井・山中、2006; 加藤、2006; 前田、2007）や過剰揚水に伴う誘発涵養メカニズムの解明（Yamanaka *et al.*, 2009a）など、新たな利用法が提案され、実証的に用いられた。地下水涵養源の寄与率評価に関しては、同位体トレーサーを逆問題的に用いる手法のほか、数値モデルとの併用によって順問題的に用いる手法が提案され（Yamanaka and Wakui, 2009）、両者による結果は非常に良い一致を示した（Wakui, 2007）。また、過剰揚水に伴う誘発涵養メ

カニズムに関しては、安定同位体のほかにクロロフルオロカーボン類(CFCs)や放射性炭素同位体(C-14)などを併用したマルチトレーサーアプローチも試みられ (Yamanaka *et al.*, 2009b), 3次元地下水流動シミュレーション (三木田, 2009; Yamanaka and Mikita, 2009) から得られる知見をサポートする結果が得られている。

このほか、乾燥地域における地下水涵養過程 (開発ほか, 2004; Tsujimura *et al.*, 2007a; Tanaka *et al.*, 2009), 不飽和帯における土壌水同位体比プロファイルの形成機構 (Yabusaki, 2005; 藪崎・田瀬, 2007), 海底地下水湧出に伴う栄養塩動態 (Umezawa *et al.*, 2007), 地下水年代決定のための放射性塩素同位体 (Cl-36) や CFCs の利用 (Tosaki, 2008; 大田, 2006), 硝酸性窒素による地下水汚染 (郷原, 2006; 保坂, 2006; 吉田, 2006; 岸, 2008; 上野, 2008), 河川流出における基盤岩地下水の役割 (浦野, 2005; 川上, 2005; 増渕, 2005; 岩上, 2005; 福島, 2005, 澁澤, 2006), 湧水の湧出機構による分類 (水尻, 2006; 新橋, 2007) などに関する研究も行われた。こうした新しい研究手法の開発やその応用研究は、地下水管理の望ましい在り方を追究する研究 (Yamanaka and Wakui, 2008; Yamanaka, 2008) へと発展しつつある。

TERC プロジェクトとしては、気候・地表状態の変化による地下水涵養量の変化を診断・予測するために、バンコク首都圏を対象とした広域地下水流動モデルを構築し、環境トレーサーとの併用による氷期-間氷期スケールの地下水涵養量変化の復元に着手した。

以上が本研究領域における主な研究成果であるが、過去 6 年間の公表論文数は、国際誌 (査読つき) 16 編, 国内誌 (査読つき) 9 編, その他の論文等 (査読なし) 43 編である。また、博士論文 2 件, 修士論文 11 件, 卒業論文 16 件が作成された。

***** 研究業績 *****

●国際誌 (査読つき)

- Kaihotsu, I., Koike, T., Yamanaka, T., Fujii, H., Ohta, T., Tamagawa, K., Oyunbaatar, D. and Akiyama, R. (2009): Validation of soil moisture estimation by AMSR-E in the Mongolian Plateau. *Journal of the Remote Sensing Society of Japan*, **29**, 271-281.
- Li, S. G., Tsujimura, M., Sugimoto, A., Sasaki, L., Yamanaka, T., Davaa, G., Oyunbaatar, D. and Sugita, M. (2006): Seasonal variation in oxygen isotope composition of waters for a montane larch forest in Mongolia. *Trees*, **20**, 122-130.
- Li, S. G., Tsujimura, M., Sugimoto, A., Davaa, G., Oyunbaatar, D. and Sugita, M. (2007a): Temporal variation of $\delta^{13}\text{C}$ of larch leaves from a montane boreal forest in Mongolia. *Trees*, **21**, 479-490, doi: 10.1007/s00468-007-0142-2.
- Li, S. G., Tsujimura, M., Sugimoto, A., Sasaki, L., Davaa, G. and Oyunbaatar, D. (2007b): An isotopic study of water use of plants at the upper reach of the Kherlen River in Mongolia. *Journal of Hydrology*, **333**, 109-117, doi: 10.1016/j.jhydrol.2006.07.020.
- Sato T., Tsujimura, M., Yamanaka, T., Iwasaki, H., Sugimoto, A., Sugita, M., Kimura, F., Davaa, G.

- and Oyunbaatar, D. (2007): Water sources in semiarid northeast Asia as revealed by field observations and isotope transport model. *J. Geophys. Res.*, **112**, D17112, doi: 10.1029/2006JD008321.
- Tsujimura, M., Abe, Y., Tanaka, T., Shimada, J., Higuchi, S., Yamanaka, T., Davaa, G. and Oyunbaatar, D. (2007a): Stable isotopic and geochemical characteristics of groundwater in Kherlen River basin, a semi-arid region in eastern Mongolia. *Journal of Hydrology*, **333**, 47-57.
- Tsujimura, M., Sasaki, L., Yamanaka, T., Sugimoto, A., Li, S-G., Matsushima, D., Kotani, A. and Saandar, M. (2007b): Vertical distribution of stable isotopic composition in atmospheric water vapor and subsurface water in grassland and forest sites, eastern Mongolia. *Journal of Hydrology*, **333**, 35-46.
- Umezawa Y., Ishitobi, T., Rungsupa, S., Onodera, S., Yamanaka, T., Yoshimizu, C., Tayasu, I., Nagata, T. and Taniguchi, M. (2007): Fresh groundwater contributions to the nutrient dynamics at shallow subtidal areas adjacent to a mega city, Bangkok. In W. Sanford, C. Langevin, M. Polemio and P. Povinec eds.: *A New Focus on Groundwater-Seawater Interactions*. IAHS Publication, **312**, 169-179.
- Yamanaka, T., Shimada, J., Tsujimura, M., Lorphensriand, O., Mikita, M., Hagihara, A. and Onodera, S. (2009a): Tracing a confined groundwater flow system under the pressure of excessive groundwater use in the Lower Central Plain, Thailand. *Hydrological Processes*, in press.
- Yamanaka, T. and Shimizu, R. (2007): Spatial distribution of deuterium in atmospheric water vapor: diagnosing sources and the mixing of atmospheric moisture. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, **71**, 3162-3169.
- Yamanaka, T. and Wakui, H. (2009): Intensive groundwater-surface water interaction in an alluvial fan: assessment using a numerical model and isotopic tracer. M. Taniguchi, W.C. Burnett, Y. Fukushima, M. Haigh and Y. Umezawa eds.: *From Headwaters to the Ocean: Hydrological Changes and Watershed Management*, Taylor and Francis, 321-327.
- Yamanaka, T., Inoue, M. and Kaihotsu, I. (2004a): Effects of gravel mulch on water vapor transfer above and below the soil surface. *Agricultural Water Management*, **67**, 145-155.
- Yamanaka, T., Shimada, J., Hamada, Y., Tanaka, T., Yang, Y., Wanjun, Z. and Chunsheng, H. (2004b): Hydrogen and oxygen isotopes in precipitation in a northern part of the North China Plain: Climatology and inter-storm variability. *Hydrological Processes*, **18**, 2211-2222.
- Yamanaka, T., Kaihotsu, I., Oyunbaatar, D. and Ganbold T. (2007a): Characteristics and controlling factors of regional-scale surface soil moisture variability over semi-arid grassland in Mongolia. *Journal of Meteorological Society of Japan*, **85A**, 261-270.
- Yamanaka, T., Kaihotsu, I., Oyunbaatar, D. and Ganbold T. (2007b): Summertime soil hydrological cycle and surface energy balance on the Mongolian steppe. *Journal of Arid Environments*, **69**, 65-79.

Yamanaka, T., Tsujimura, M., Oyunbaatar, D. and Davaa, G. (2007c): Isotopic variation of precipitation over eastern Mongolia and its implication for the atmospheric water cycle. *Journal of Hydrology*, **333**, 21-34.

●国内誌 (査読つき)

網川明芳・山中 勤 (2005): 安定同位体分析のための大気水蒸気サンプリング手法の信頼性. 水文・水資源学会誌, **18**, 306-309.

濱田洋平・藪崎志穂・田瀬則雄・谷山一郎 (2004): 田面水の水素・酸素安定同位体比とそれに及ぼす蒸発の影響. 日本水文科学会誌, **34**, 209-216.

檜山哲哉・阿部 理・栗田直幸・藤田耕史・池田健一・橋本重将・辻村真貴・山中 勤 (2008): 水の酸素・水素安定同位体を用いた地球水循環研究と今後の展望. 水文・水資源学会誌, **21**, 158-176.

平田昌弘・岸川沙織・近藤昭彦・山中 勤・開発一郎・ダムディン バトムフ・本江昭夫 (2009): モンゴル高原中央部における植物の生育に影響を及ぼす自然環境の諸要因の分析. 砂漠研究 (日本沙漠学会誌) , **19**, 403-411.

矢野伸二郎・辻村真貴・田瀬則雄・植田宏昭 (2006): 筑波山斜面における降水の安定同位体比時空間分布形成プロセス. 水文・水資源学会誌, **19**, 383-391.

藪崎志穂・田瀬則雄 (2005): つくば市における降水の安定同位体比の特徴について. 水文・水資源学会誌, **18**, 592-602.

山中 勤・三谷克之輔・小野寺真一・開発一郎 (2005): 瀬戸内圏の貧栄養牧草地における水・熱・物質収支. 地理学評論, **78**, 113-125.

山中 勤・飯塚幸子・田中 正 (2006): 共存植物種間の水源分化: 同位体生態水文学的アプローチ. 水文・水資源学会誌, **19**, 458-464.

涌井久司・山中 勤 (2006): 安定同位体組成からみた那須扇状地扇央部における地下水涵養源とその地域性. 地下水学会誌, **48**, 263-277.

●紀要・報告書・解説・Proceedings等 (査読なし)

飯塚幸子・山中 勤・田中 正 (2004): 安定同位体分析のための植物体からの水の抽出について—ポット試験による検討—. 筑波大学陸域環境研究センター報告, **5**, 81-86.

開発一郎・山中 勤・池淵周一・小尻利治 (2004): 半乾燥地域平地での広域地下水涵養—モンゴル高原での観測結果解析—. 京都大学防災研究所年報, **47 B**, 863-869.

木庭啓介 (2006): 陸域生態系における窒素循環. 筑波大学陸域環境研究センター電子モノグラフ, No. 2, 24-27.

清水亮介・山中 勤 (2005): 微気象学的スケールにおける大気水蒸気同位体組成の空間構造. 筑波大学陸域環境研究センター報告, **6**, 3-9.

鈴木和美・山中 勤 (2004): Palmer Drought Severity Index (PDSI) を用いたモンゴルの旱魃の解析. 筑波大学陸域環境研究センター報告, **5**, 3-12.

- 田瀬則雄 (2006): 地下水流動系からみた地下水汚染問題: ホットスポット, ホットパス, ホットパスゾーン. 筑波大学陸域環境研究センター電子モノグラフ, No. 2, 17-23.
- 辻村真貴 (2006): トレーサー水文地形学: 山体の崩壊メカニズムを診断する. 筑波大学陸域環境研究センター電子モノグラフ, No. 2, 11-16.
- 角皆 潤・中川書子・笹川基樹・亀山宗彦 (2006): 安定同位体組成を指標に用いた大気-海洋間の物質循環解析. 筑波大学陸域環境研究センター電子モノグラフ, No. 2, 47-53.
- 水尻正博・藪崎志穂・田瀬則雄・辻村真貴 (2006): 茨城県つくば市における湧水の特徴. 筑波大学陸域環境研究センター報告, 7, 15-29.
- 村野健太郎 (2006): アジア大陸から日本への越境大気汚染と同位体比測定. 筑波大学陸域環境研究センター電子モノグラフ, No. 2, 60-68.
- 森 淳・水谷正一・松澤真一 (2006): 食物網からみた農業生態系の物質循環. 筑波大学陸域環境研究センター電子モノグラフ, No. 2, 39-46.
- 藪崎志穂・田瀬則雄 (2004): 台風到来時の降水の酸素・水素安定同位体比の変動特性. 筑波大学陸域環境研究センター報告, 5, 29-39.
- 藪崎志穂・田瀬則雄 (2007): 土壌水の酸素・水素安定同位体比鉛直プロファイルの形成過程について. 筑波大学陸域環境研究センター報告, 8, 17-26.
- 藪崎志穂・田中 正・福島武彦・浅沼 順・飯田真一 (2006): 霞ヶ浦流域における河川水の水質・流量特性について. 筑波大学陸域環境研究センター報告, 7, 3-13.
- 藪崎志穂・田瀬則雄・辻村真貴・林 陽生 (2008): 筑波山南斜面における降水の安定同位体比特性. 筑波大学陸域環境研究センター報告, 9, 15-23.
- 山中 勤 編 (2006a): 環境循環系診断のための同位体トレーサー技術. 筑波大学陸域環境研究センター電子モノグラフ, No. 2, 68p.
- 山中 勤 (2006b): 地表付近の水の安定同位体を用いた生態水文気象診断. 筑波大学陸域環境研究センター電子モノグラフ, No. 2, 4-10.
- 山中 勤・松尾大悟・矢野 翠・角張順一・飯田真一・涌井久司・清水亮介・田中 正 (2005): 遷移過程のアカマツ二次林における植物種間の根系分布の差異. 筑波大学陸域環境研究センター報告, 6, 39-44.
- 横尾頼子 (2006): Sr-Nd 同位体を用いた地圏環境研究. 筑波大学陸域環境研究センター電子モノグラフ, No. 2, 54-59.
- 吉岡崇仁 (2006): 水圏生態系の安定同位体解析. 筑波大学陸域環境研究センター電子モノグラフ, No. 2, 28-38.
- 芳村 圭 (2006): 全球スケール水循環過程と降水同位体比決定機構. 筑波大学陸域環境研究センター電子モノグラフ, No. 2, 1-3.
- 若本実希・山中 勤 (2004): 降水分取器内部での蒸発に伴う試水の同位体濃縮について. 筑波大学陸域環境研究センター報告, 5, 73-79.
- Kaihotsu, I., Yamanaka, T., Davaa, G., Oyunbaatar, D. and Koike, T. (2004): Soil water movement at

- the Mongol CEOP and AMSR/AMSR-E validation site. *Proceedings of APHW*, **2**, 67-73.
- Kaihotsu, I., Yamanaka, T. and Koike, T. (2005a): Current activities of the AMPEX AMSR/AMSR-E studies. *Bull. TERC, Univ. of Tsukuba*, **5** Suppl., 1-2.
- Kaihotsu, I., Yamanaka, T., Koike, T., Oyunbaatar, D. and Davaa, G. (2005b): Ground-based observations for the ADEOS II/AQUA validation in the Mongolian Plateau. *Ground Truth for Evaluation of Soil Moisture and Geophysical/Vegetation Parameters Related to Ground Surface Conditions with AMSR and GLI in the Mongolian Plateau*, Japan Aerospace Exploration Agency, 5-21.
- Tanaka, T., Tsujimura, M. and Yamanaka, T. (2009): Characteristics of infiltration and groundwater recharge processes in arid and semi-arid regions. *Proceedings of UNESCO Chair Workshop on Sustainable Groundwater Management in Arid and Semi-Arid Regions*. IHP VII Technical Documents in Hydrology, No. 1, UNESCO Office Beijing, 21-30.
- Tsujimura, M., Sasaki, L., Yamanaka, T. and Li, S. (2005): Hydrological processes in Kherlen River basin revealed by isotope tracer approaches. *Bull. TERC, Univ. of Tsukuba*, **5** Suppl., 70-71.
- Yabusaki, S., Tase, N. and Tsujimura, M. (2006): Temporal variation of stable isotopes in precipitation at Tsukuba City. *Tsukuba Geoenvironmental Sciences*, **2**, 31-35.
- Yamanaka, T. (2005): Root water uptake and competitive interaction among plants as revealed by isotopic approach. *Proceedings of International Workshop on Research Progress and Current Issue of Unsaturation Process in Vadose Zone*, 9-12.
- Yamanaka T. (2008): Living together with water: *A review of the Japanese experience. paper presented at the International Workshop on Water Governance*, JSPS/DGHE, Bogor, Indonesia, 23 July.
- Yamanaka T. and Mikita, M. (2009): Disturbance of groundwater flow system due to excessive pumping in the Bangkok metropolitan area, Thailand. Paper presented at the 3rd International Symposium on Human Impacts on Urban Subsurface Environment, Taipei, Republic of China, 17-20 November.
- Yamanaka, T. and Tsunakawa, A. (2007): Isotopic signature of evapotranspiration flux and its use for partitioning evaporation/transpiration components. *Tsukuba Geoenvironmental Sciences*, **3**, 11-21.
- Yamanaka, T. and Wakui, H. (2008): Mixing analysis of groundwater recharge source for better watershed management. *Proceedings of International Workshop on Integrated Watershed Management for Sustainable Water Use in a Humid Tropical Region*. *Bull. TERC, Univ. of Tsukuba*, **8** Suppl.2, 75-78.
- Yamanaka, T., Iizuka, S. and Tanaka, T. (2004c): An isotope-ecohydrological study on water use strategy of plants in a suburban secondary forest. *EOS Trans. AGU*, **85** (28), West. Pac. Geophys. Meet. Suppl., Abstract B12A-05.

- Yamanaka, T., Kaihotsu, I., Oyunbaatar, D. and Ganbold, T. (2005a): Regional-scale variability of the surface soil moisture revealed by the AMPEX monitoring network. *Ground Truth for Evaluation of Soil Moisture and Geophysical/Vegetation Parameters Related to Ground Surface Conditions with AMSR and GLI in the Mongolian Plateau*, Japan Aerospace Exploration Agency, 33-42.
- Yamanaka, T., Kaihotsu, I., Oyunbaatar, D. and Ganbold, T. (2005b): Evaluation of water and energy exchanges between the Mongolian grassland and the atmosphere using AMPEX-AWS dataset. *Ground Truth for Evaluation of Soil Moisture and Geophysical/Vegetation Parameters Related to Ground Surface Conditions with AMSR and GLI in the Mongolian Plateau*, Japan Aerospace Exploration Agency, 23-32.
- Yamanaka, T., Kaihotsu, I., Oyunbaatar, D. and Ganbold, T. (2006): Soil water balance at Mongolian steppe region without perennial rivers. *Proceedings of International Workshop on Water Cycle and Sustainable Use of Water Resources*, 88-94.
- Yamanaka, T., Matsuo, D. and Hirota, M. (2008a): Application of normal distribution model to estimate root water uptake profile by an isotopic approach. *Paper presented at American Geophysics Union 2008 Fall Meeting*, San Francisco, USA, 15-19 December.
- Yamanaka, T., Shimada, J. and Tsujimura, M. (2008b): Tracing deep groundwater underneath the Bangkok metropolitan area. Paper presented at the International Symposium and Workshop on Current Problem in Groundwater Management and Related Water Resources Issues, Kuta-Bali, Indonesia, 3-8 December 2007, Research Institute for Humanity and Nature Project 2-4 "Human Impacts on Urban Subsurface Environments" *Progress Report 2007* (Taniguchi, M. ed.), Research Institute for Humanity and Nature, 42-45.
- Yamanaka, T., Tsujimura, M., Oyunbaatar, D. and Davaa, G. (2005c): Isotopic variation of precipitation over eastern Mongolia. *Bull. TERC, Univ. of Tsukuba*, 5 Suppl., 46-47.
- Yamanaka, T., Tsujimura, M., Oyunbaatar, D. and Davaa, G. (2007e): Precipitation over Mongolia may provide good isotopic thermometers. Rangelands Atmosphere-Hydrosphere-Biosphere Interaction Study Experiment in Northeastern Asia -Highlights of the RAISE Project-. *Bull. TERC, Univ. of Tsukuba*, 8 Suppl., 83-84.
- Yamanaka, T., Shimada, J., Ikawa, R., Onodera, S., Buapeng, S., Suwanlert, J., Lorphensriand, O. and Taniguchi, M. (2007d): Recharge and flow systems of deep groundwater in and around the Bangkok metropolitan area, Thailand: a preliminary result. paper presented at *the 4th Annual Meeting of the Asia Oceania Geosciences Society*, HS05-A0009, CD-ROM.
- Yamanaka, T., Mikita, M., Tsujimura, M., Lorphensriand, O., Shimada, J., Hagihara, A., Ikawa, R., Kagabu, M., Nakamura, T., Onodera, S. and Taniguchi, M. (2009b): Assessment of enhanced recharge of confined groundwater in and around the Bangkok metropolitan area: numerical experiments and multiple tracer studies. *Proceedings of International Symposium on Efficient Groundwater Resources Management (IGS-TH 2009)*, Bangkok, Thailand, 16-18 February,

CD-ROM.

●招待講演

Yamanaka, T. (2008): Living together with water: A review of the Japanese experience. International Workshop on Water Governance, JSPS/DGHE, Bogor, Indonesia, 23 July.

Yamanaka, T., Shimada, J. and Tsujimura, M. (2008): Tracing deep groundwater underneath the Bangkok metropolitan area. International Symposium and Workshop on Current Problem in Groundwater Management and Related Water Resources Issues, Kuta-Bali, Indonesia, 3-8 December.

Yamanaka, T. and Mikita, M. (2009): Disturbance of groundwater flow system due to excessive pumping in the Bangkok metropolitan area, Thailand. 3rd International Symposium on Human Impacts on Urban Subsurface Environment, Taipei, Republic of China, 17-20 November.

●博士論文

Yabusaki, Shiho (2005): Formation process of vertical profile of stable isotopic compositions in soil water. 196p. (筑波大学地球科学研究科)

Tosaki, Yuki (2008): Estimation of groundwater residence time using bomb-produced chlorine-36. 132p. (筑波大学生命環境科学研究科)

●修士論文

浦野弘規 (2005): 流紋岩からなる山地源流域における降雨流出プロセスに果たす基盤岩地下水の役割. 86p. (筑波大学教育研究科)

川上貴宏 (2005): 火成岩からなる山地流域における湧水の降雨流出プロセス. 81p. (筑波大学環境科学研究科)

増渕 健 (2005): 火成岩からなる山体基盤岩中における間隙空気の挙動. 96p. (筑波大学環境科学研究科)

郷原裕紀 (2006): 筑波台地末端部における硝酸イオンの自然浄化能の評価. 68p. (筑波大学環境科学研究科)

保坂亜紀子 (2006): 筑波台地緩斜面における地下水流動と硝酸性窒素の挙動. 86p. (筑波大学環境科学研究科)

吉田 颯 (2006): 樹木による地下水中の硝酸性窒素の浄化. 131p. (筑波大学環境科学研究科)

Shimizu, Ryosuke (2007): Isotopic composition of lake origin vapor and its mixing with regional atmospheric vapor. 83p. (筑波大学生命環境科学研究科)

Wakui, Hisashi (2007): Numerical simulation on isotopic changes in groundwater in the Nasu fan, Tochigi Prefecture. 73p. (筑波大学生命環境科学研究科)

Matsuo, Daigo (2008): Influence of competition among co-occurring plants on water use of Japanese red pine. 84p. (筑波大学生命環境科学研究科)

Onda, Makoto (2008): Estimation of lake water balance using environmental tracers. 69p. (筑波大学
生命環境科学研究科)

岸 和央 (2008): 農畜産業起源の硝酸性窒素による地下水汚染. 92p. (筑波大学環境科学研究科)

●卒業論文

岩上 翔 (2005): 火成岩からなる山地源流域の降雨流出過程における基盤岩地下水の役割. 75p. (筑波大
学自然学類)

清水亮介 (2005): 水蒸気同位体組成の空間分布特性とそのスケール依存性. 56p. (筑波大学群自然学類)

福島興征 (2005): 火成岩山体における湧水・河川水の空間分布特性と地下水流動系の関係. 69p. (筑波大
学自然学類)

矢野伸二郎 (2005): 筑波山斜面における降水の安定同位体比時空間分布形成プロセス. 90p. (筑波大学自
然学類)

涌井久司 (2005): 安定同位体組成からみた那須扇状地の地下水-地表水相互作用. 54p. (筑波大学自然学
類)

大田清宏 (2006): クロロフルオロカーボン類を用いた地下水の滞留時間推定法に関する基礎研究. 67p.
(筑波大学自然学類)

恩田 真 (2006): 水面蒸発フラックスの同位体組成に関する観測的研究: Craig-Gordon モデルの野外検
証. 41p. (筑波大学自然学類)

加藤信哉 (2006): 栃木県鹿沼地域における地下水と河川水の交流関係. 62p. (筑波大学自然学類)

澁澤昌宏 (2006): 火成岩からなる山地流域の湧水における流出プロセスと滞留時間. 47p. (筑波大学自然
学類)

野村あゆみ (2006): 筑波山における降水の安定同位体比形成プロセス. 47p. (筑波大学自然学類)

松尾大悟 (2006): アカマツの水利用様式に関する同位体生態水文学的研究: アカマツ単純林における事
例. 35p. (筑波大学自然学類)

水尻正博 (2006): 茨城県つくば市における湧水の特徴. 51p. (筑波大学自然学類)

新橋龍太郎 (2007): 筑波山および周辺地域の湧水と渓流水の特徴. 40p. (筑波大学自然学類)

前田明大 (2007): 栃木県那須扇状地における水田灌漑が地下水涵養に果たす役割. 82p. (筑波大学自然学
類)

上野紗綾子 (2008): 窒素安定同位体比を用いた汚染源の異なる硝酸性窒素による土壌・地下水汚染の解
明. 57p. (筑波大学自然学類)

三木田 慎 (2009): タイ国バンコク首都圏における揚水活動に伴う深層地下水涵養過程の数値解析. 69p.
(筑波大学自然学類)

***** 競争的外部資金 *****

(科学研究費等)

- H13-18 科学技術振興機構戦略的創造研究推進事業 (CREST): 「北東アジアの植生変遷域の水循環と生物, 大気圏の相互作用の解明」(代表: 杉田倫明, 分担: 木村富士男, 浅沼 順, 田中 正, 山中 勤) 69,534 千円 (ただし H16-18 の期間について) (再掲)
- H15-17 科研費若手研究 (B): 「陸域再循環過程の定量化に関する同位体水文気象学的研究」(代表: 山中 勤) 1,400 千円 (ただし H16-17 の期間について)
- H17-22 文部科学省特別教育研究経費: 「地球温暖化に伴う植生の変化が地下水涵養機構に与える影響に関する研究」(陸域環境研究センター) 36,768 千円 (ただし H17-21 の期間について) (再掲)
- H18-22 人間文化研究機構総合地球環境学研究所プロジェクト: 「都市の地下環境に残る人間活動の影響」(代表: 谷口真人, 分担: 山中 勤) 330,000 千円 (ただし H18-21 の期間について)
- H19-20 科研費若手研究 (B): 「植物の水利用様式と植生遷移の関係に関する比較研究」(代表: 山中 勤) 2,840 千円
- H21-26 科学技術振興機構戦略的創造研究推進事業 (CREST): 「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」(代表: 恩田裕一, 分担: 浅沼 順, 山中 勤) 45,480 千円 (ただし H21 について)

[2] アジア域における物質・エネルギー循環に関する研究

***** 総括 *****

1) 領域気候モデルによる研究

モンゴルにおいて、領域気候モデルTERC-RAMSによる植生地および乾燥地における熱と水循環の再現実験を実施した。また、植生が減少した時の気温及び降水量の変化を予測した。さらに、GCMの計算結果をダウンスケールすることにより、この地域における将来の温室気体増大による降水への影響を予測した。この結果、乾燥化により降水量が減少すること、将来の温暖化によっては、とくに降水量の多い事象を中心にして降水量が減少することが示された (Sato *et al.*, 2007)。また、同様な数値モデルを簡略化した大規模場を境界実験とした数値実験をすることにより、アジアにおける乾燥域の多くは、チベット高原の熱的効果により、降水が抑制されていることが示された。その効果は亜熱帯ジェット的位置により変化するため、暖候期には東アジアの降水を抑制していることが推測された (Sato and Kimura, 2007)。

2) 同位体比の観測による広域水循環の把握

モンゴルの地表状態の変化、特に草原からの蒸発散フラックスが当該地域の降水に及ぼす影響を評価するため、降水・水蒸気同位体モニタリングを実施した。その結果、モンゴルにおける降水同位体変動は、亜熱帯海洋域に起源をもつ水蒸気が高緯度に輸送される過程で冷却され同位体比を減じてゆくというレイリー型のモデルでよく再現できることが示された (Yamanaka *et al.*, 2007c)。ただし、アジアモンスーンの影響を受ける7月にはモデルの再現性が悪化し、中国南部における再蒸発水の寄与が示唆された。また、降水同位体データを用いて検証された大気循環モデルを用いて、水蒸気供給源の同定や寄与率評価を行ったところ、モンゴル全体としては再循環率が比較的高いものの、東部ではアジアモンスーンの影響を受け、外部起源水蒸気の寄与が高くなることが示された (Sato *et al.*, 2007)。航空機を用いてサンプリングされた大気境界層内外の水蒸気同位体組成から推定された蒸発散フラックスの寄与率は24~46%であり、前述の大気循環モデルによる推定(25~40%)と概ね一致した (Tsujimura *et al.*, 2007b)。蒸発散フラックスに占める蒸散の割合は、森林において高く(60-73%)、草原では低かった(35-59%)。日本の温帯草原における比較観測結果では100%近い値が得られており (Yamanaka and Tsunakawa, 2007)、モンゴル草原における蒸散が土壌水分による強い抑制を受けていることが明らかとなった。

一方、土壌水・地下水の広域同位体調査によれば、上流の森林域で主に地下水が涵養されており、草原域における地下水涵養は豪雨時など特定の場合に限定されることが明らかとなった (Tsujimura *et al.*, 2007a; Tanaka *et al.*, 2009)。これらの結果は、微気象学的手法による水収支算定結果 (Yamanaka *et al.*, 2007b) と整合的であった。従って、モンゴルにおける地下水は枯渇性資源としての側面を有しており、その利用は特に注意を払わなければならないことが浮き彫りとされた。

***** 研究業績 *****

●国際誌 (査読つき)

- Adachi, S. and Kimura, F. (2007): A 36-year climatology of surface cyclogenesis in East Asia using high-resolution reanalysis data. *SOLA*, **3**, 113-116.
- Adachi, S., Kimura, F., Sugata, S., Hayasaki, M. and Wakamatsu, S. (2007): Dust transport along a cold front: A case study of a cyclone observed on 19-20 April 2000 in 120 Northeast Asia. *J. Japan Soc. Atmos. Environ.*, **42**, 327-338.
- Aoki, I., Kurosaki, Y., Osada, R., Sato, T. and Kimura, F. (2005): Dust storms generated by mesoscale cold fronts in the Tarim Basin, Northwest China. *Geophys. Res. Lett.*, **32**-3, L06807, doi: 10.1029/2004GL021776.
- Fujita, M., Kimura, F. and Yoshizaki, M. (2009): Morning precipitation peak over the Strait of Malacca under a calm condition. *Monthly Weather Review*, (early online release, posted November 2009), doi: 10.1175/2009MWR3068.1.
- Fujita, M., Sasaki, T. and Kimura, F. (2006): A dramatic daytime decrease in water vapor over coastal Thailand. *SOLA*, **2**, 49-52.
- Hara, M., Yoshikane, T., Kimura, F., Tokioka, T. and Noda, A. (2009): Assessment of the diurnal cycle of precipitation over the maritime continent simulated by a 20 km Mesh GCM using TRMM PR Data. *JMSJ*, **87A**, 413-424.
- Iwasaki, H., Sato, T., Nii, T., Kimura, F., Nakagawa, K., Kaihotsu, I. and Koike, T. (2008): Diurnal variation of convective activity and precipitable water around Ulaanbaator, Mongolia, and the impact of soil moisture on convective activity during nighttime. *Mon. Wea. Rev.*, **136**, 1401-1415, doi: 10.1175/2007MWR2062.1.
- Kawase, H., Yoshikane, T., Hara, M., Ailikun, B., Kimura, F. and Yasunari, T. (2008): Downscaling of the climatic change in the rainband in East Asia by a pseudo climate simulation method. *SOLA*, **4**, 73-76.
- Li, S. G., Tsujimura, M., Sugimoto, A., Sasaki, L., Yamanaka, T., Davaa, G., Oyunbaatar, D. and Sugita, M. (2006): Seasonal variation in oxygen isotope composition of waters for a montane larch forest in Mongolia. *Trees*, **20**, 122-130.
- Li, S. G., Tsujimura, M., Sugimoto, A., Davaa, G., Oyunbaatar, D. and Sugita, M. (2007a): Temporal variation of $\delta^{13}\text{C}$ of larch leaves from a montane boreal forest in Mongolia. *Trees*, **21**, 479-490, doi: 10.1007/s00468-007-0142-2.
- Li, S. G., Tsujimura, M., Sugimoto, A., Sasaki, L., Davaa, G. and Oyunbaatar, D. (2007b): An isotopic study of water use of plants at the upper reach of the Kherlen River in Mongolia. *Journal of Hydrology*, **333**, 109-117, doi: 10.1016/j.jhydrol.2006.07.020.

- Ohba, M. and Ueda, H. (2009): Role of nonlinear atmospheric response to SST on the asymmetric transition process of ENSO. *J. Climate*, **22**, 177-192.
- Peiming, W., Hara, M., Hamada, J., Yamanaka, M. D. and Kimura, F. (2009): Why a large amount of rain falls over the sea in the vicinity of western Sumatra Island during nighttime. *J. Appl. Meteor. Clim.*, **48**, 1345-1361. doi: 10.1175/2009JAMC2052.1.
- Sasaki, T., Wu, P., Mori, S., Hamada, J. I., Tauhid, Y. I., Yamanaka, M. D., Sribimawati, T., Yoshikane, T. and Kimura, F. (2004): Vertical moisture transport above the mixed layer around the mountains in western Sumatra. *Geophys. Res. Lett.*, **31**, L019730, doi: 10.1029/2004 GL019730.
- Sato, T. and Kimura, F. (2005): Impact of diabatic heating over the Tibetan plateau on subsidence over northeast Asian arid region. *Geophys. Res. Lett.*, **32**-3, L05809, doi: 10.1029/2004GL022089.
- Sato, T., Kimura, F. and Kitoh, A. (2006): Projection of global warming onto regional precipitation over Mongolia using a regional climate model. *Journal of Hydrology*, **333**, 144-154, doi: 10.1016/j.jhydrol.2006.07.023.
- Sato, T. and Kimura, F. (2007): How does Tibetan Plateau affect transition of Indian monsoon rainfall? *Mon. Wea. Rev.*, **135**, 2006-2015.
- Sato, T., Kimura, F. and Hasegawa, A. S. (2007): Vegetation and topographic control of cloud activity over arid/semiarid Asia. *J. Geophys. Res.*, **112**, D24109, doi: 10.1029/2006JD008129.
- Sato T., Tsujimura, M., Yamanaka, T., Iwasaki, H., Sugimoto, A., Sugita, M., Kimura, F., Davaa, G. and Oyunbaatar, D. (2007): Water sources in semiarid northeast Asia as revealed by field observations and isotope transport model. *J. Geophys. Res.*, **112**, D17112, doi: 10.1029/2006 JD008321.
- Sugita, M., Asanuma, J., Tsujimura, M., Mariko, S., Minjiao, L., Kimura, F., Azzaya, D. and Adyasuren, T. (2007): An overview of the rangelands atmosphere- hydrosphere-biosphere interaction study experiment in northeastern Asia (RAISE). *Journal of Hydrology*, **333**, 3-20.
- Tsujimura, M., Abe, Y., Tanaka, T., Shimada, J., Higuchi, S., Yamanaka, T., Davaa, G. and Oyunbaatar, D. (2007a): Stable isotopic and geochemical characteristics of groundwater in Kherlen River basin, a semi-arid region in eastern Mongolia. *Journal of Hydrology*, **333**, 47-57.
- Tsujimura, M., Sasaki, L., Yamanaka, T., Sugimoto, A., Li, S-G., Matsushima, D., Kotani, A. and Saandar, M. (2007b): Vertical distribution of stable isotopic composition in atmospheric water vapor and subsurface water in grassland and forest sites, eastern Mongolia. *Journal of Hydrology*, **333**, 35-46.
- Tsunematsu, N., Sato, T., Kimura, F., Kai, K., Kurosaki, Y., Nagai, T., Zhou, H. and Mikami, M. (2005): Extensive dust outbreaks following the morning inversion breakup in the Taklimakan Desert. *J. Geophys. Research*, **110**, D21207, doi: 10.1029/2005JD005994.

- Ueda, H., Ohba, M. and Xie, S. P. (2009): Important factors for the development of the Asian-Northwest Pacific summer monsoon. *J. Climate*, **22**, 649-669.
- Wang, Y., Leung, L. R., McGregor, J. L., Lee, D. K., Wang, W. C., Ding, Y. and Kimura, F. (2004): Regional climate modeling: progress, challenges, and prospects. *J. Meteor. Soc. Japan*, **82**, 1599-1628.
- Watarai, Y. and Tanaka, H. L. (2004): Local energetics analysis of blocking formation in the north Pacific decomposed in vertical mean and sheared flows. *J. Meteor. Soc. Japan*, **82**, 1447-1458.
- Watarai, Y. and Tanaka, H. L. (2007): Characteristics of the JRA-25 dataset from the viewpoint of global energetics. *SOLA*, **3**, 9-12.
- Yamanaka, T., Kaihotsu, I., Oyunbaatar, D. and Ganbold, T. (2007a): Characteristics and controlling factors of regional-scale surface soil moisture variability over semi-arid grassland in Mongolia. *Journal of Meteorological Society of Japan*, **85A**, 261-270.
- Yamanaka, T., Kaihotsu, I., Oyunbaatar, D. and Ganbold, T. (2007b): Summertime soil hydrological cycle and surface energy balance on the Mongolian steppe. *Journal of Arid Environments*, **69**, 65-79.
- Yamanaka, T., Tsujimura, M., Oyunbaatar, D. and Davaa, G. (2007c): Isotopic variation of precipitation over eastern Mongolia and its implication for the atmospheric water cycle. *Journal of Hydrology*, **333**, 21-34.
- Yoshikane, T. and Kimura, F. (2008): Formation mechanism of an intensified cold air mass in the middle troposphere over East Siberia in December 2005 using a regional climate model. *J. Meteor. Soc. Japan*, **86**, 773-785, doi: 10.2151/jmsj.86.773.

●紀要・報告書・解説・Proceedings等（査読なし）

- 佐藤友徳・木村富士男 (2006): モンゴルにおける環境変化診断のための領域気候シミュレーション. 筑波大学陸域環境センター報告, **7**, 59-69.
- Climate Sub-group (2005): Report of Climate Sub Group 2004. *The Progress Report of ICCAP*
- Hori, M. E. and Watarai, Y. (2005): Observation of thermal belt on an open slope by use of infrared thermography. *Tsukuba Geoenvironmental Sciences*, **1**, 3-10.
- Kimura, F. and Sato, T. (2005): Downscaling of precipitation over Mongolia using regional climate model. *Bull. TERC, Univ. of Tsukuba*, **5** Suppl., 110-111.
- Sato, T. and Kimura, F. (2004): The impact of diabatic heating over the Tibetan plateau upon Northeastern Asia arid region. *GAME CD-ROM Publ.*, No. 11, T4TS27Jul04123159.
- Sato, T., Kimura, F. and Hasegawa, A. (2005): Cloud frequency in eastern Mongolia and its relation to the orography. *Bull. TERC, Univ. of Tsukuba*, **5** Suppl., 107-109.
- Sato, T., Kimura, F. and Kitoh, A. (2005): Numerical experiment on precipitation change over Mongolia under global warming. *Proceedings of the First International Symposium on*

Terrestrial and Climate Change in Mongolia, Mongolia, 26-28 July 2005.

- Sato, T., Lee, G., Lu, M., Lee, P., Chen, Y., Kamimera, H., Kimura, F., Oikawa, T. and Sugita, M. (2005): Modeling approach to the atmosphere-hydrosphere-biosphere interactions in Mongolia. *Bull. TERC, Univ. of Tsukuba*, **5** Suppl., 60-61.
- Sugita, M., Asanuma, J., Mariko, S., Tsujimura, M., Kimura, F., Lu, M., Azzaya, D. and Adyasuren, T. (2005): RAISE project: summary for the first three years' activities. *Bull. TERC, Univ. of Tsukuba*, **5** Suppl., 4-6.
- Tanaka, T., Tsujimura, M. and Yamanaka, T. (2009): Characteristics of infiltration and groundwater recharge processes in arid and semi-arid regions. *Proceedings of UNESCO Chair Workshop on Sustainable Groundwater Management in Arid and Semi-Arid Regions*. IHP VII Technical Documents in Hydrology, No. 1, UNESCO Office Beijing, 21-30.
- Tsujimura, M., L. Sasaki, Yamanaka, T. and Li, S. (2005): Hydrological processes in Kherlen River basin revealed by isotope tracer approaches. *Bull. TERC, Univ. of Tsukuba*, **5** Suppl., 70-71.
- Watarai, Y. and Tanaka, H. L. (2004): Local energetics analysis of blocking formation in the North Pacific decomposed in vertical mean and sheared flows. *Proceedings of the 5th International Workshop on Global Change : Connection to the Arctic (GCCA5)*, 95-98.
- Watarai, Y. and Tanaka, H. L. (2005): Comparison of blocking versus non-blocking using the local energetics of kinetic energy divided in vertical mean and sheared flows. *Science Report of Institute of Geoscience, University of Tsukuba, Section A (Geographical Sciences)*, **26**, 13-25.
- Watarai, Y. and Tanaka, H. L. (2005): Spectral energetics in polar regions using JRA-25 dataset. *Proceedings of the 6th International Conference on Global Change : Connection to the Arctic (GCCA-6)*, 21-24.
- Watarai, Y., Hori, M. E. and Hayashi, Y. (2005): Vertical structure of the thermal belt in the western slope of Mt. Tsukuba: an observational study on 10-11 December, 2004. *Tsukuba Geoenvironmental Sciences*, **1**, 11-17.
- Yamanaka, T. and Tsunakawa, A. (2007): Isotopic signature of evapotranspiration flux and its use for partitioning evaporation/transpiration components. *Tsukuba Geoenvironmental Sciences*, **3**, 11-21.
- Yamanaka, T., Tsujimura, M., Oyunbaatar, D. and Davaa, G. (2005): Isotopic variation of precipitation over eastern Mongolia. *Bull. TERC, Univ. of Tsukuba*, **5** Suppl., 46-47.
- Yamanaka, T., Tsujimura, M., Oyunbaatar, D. and Davaa, G. (2007d): Precipitation over Mongolia may provide good isotopic thermometers. Rangelands Atmosphere-Hydrosphere-Biosphere Interaction Study Experiment in Northeastern Asia -Highlights of the RAISE Project-. *Bull. TERC, Univ. of Tsukuba*, **8** Suppl., 83-84.

●著書 (分担執筆等)

山中 勤 (2007): 第13章「水循環の変化が災害を引き起こす: 地球規模水循環と自然災害」. 松岡憲知・ほか編「地球環境学」, 古今書院, 49-53.

山中 勤 (2009): 第3章「降水」. 杉田倫明・田中 正編著, 筑波大学水文学研究室著「水文科学」, 共立出版, 51-74.

●招待講演

大庭雅道 (2008): Role of Nonlinear Atmospheric Response to SST on the Asymmetric Transition Process of ENSO - ENSO の遷移期における大気海洋結合作用 -. 名古屋大学地球水循環研究センター, 2月.

大庭雅道・植田宏昭 (2008): アジアモンスーンを介したインド洋・太平洋の大気海洋相互作用. 長期予報連絡会, 気象庁, 10月.

佐藤友徳・辻村真貴・木村富士男・佐々木リサ・杉本敦子・山中 勤 (2004): 領域気候モデルを用いたモンゴル東部における大気水収支解析. 地球惑星科学関連学会 2004年合同大会, 千葉市, 5月9-13日.

木村富士男 (2008): アジアにおける降水帯の再現とメカニズムの考察, 地域の詳細な気象と気候の再現を目指してーダイナミックダウンスケール技術の高度利用ー. 日本気象学会 2008年度秋季大会シンポジウム, 仙台, 11月20日.

●博士論文

Kurosaki, Yasunori (2005): A Study on aeolian dust outbreak in east Asia. 140p. (筑波大学生命環境科学研究科)

Sato, Tomonori (2006): Numerical study on the formation mechanism of the arid climate in northeastern Asia. 98p. (筑波大学生命環境科学研究科)

Adachi, Sachiko (2008): Climatology of surface cyclogenesis and cyclone track in east Asia. 99p. (筑波大学生命環境科学研究科)

●修士論文

足立幸穂 (2005): 寒冷前線による黄砂の発生と輸送過程. 53p. (筑波大学環境科学研究科)

今井孝典 (2006): 沖縄辺戸岬で観測したエアロゾルに含まれる炭素成分の季節変動と気塊履歴依存性. 43p. (筑波大学環境科学研究科)

豊津和宏 (2006): 地上観測データに見られるネパールヒマラヤの局地循環特性. 45p. (筑波大学環境科学研究科)

長谷川 明 (2006): マラッカ海峽における降水の特性. 42p. (筑波大学環境科学研究科)

滝口善洋 (2007): 東アジア域における窒素系大気汚染物質の輸送と変質. 63p. (筑波大学環境科学研究科)

松下洋平 (2007): Nested CMAQ を用いた酸性沈着量分布の詳細解析. 79p. (筑波大学環境科学研究科)

- 渡部龍典 (2007): ヒマラヤ南斜面の日変化する降水のモデル研究. 49p. (筑波大学環境科学研究科)
- 相澤純子 (2008): 中国国内における観測データ解析による大気汚染変動要因に関する研究. 47p. (筑波大学環境科学研究科)
- 小川志保 (2008): 東アジアを起源とする有機エアロゾルの分析と輸送・変質プロセスの解明. 67p. (筑波大学環境科学研究科)
- 栗林正俊 (2009): 日本における硫黄沈着量の経年変動・年々変動に関するモデル解析. 49p. (筑波大学生命環境科学研究科)

●卒業論文

- 三島真理 (2005): 西大西洋における水蒸気輸送に及ぼす台風の役割. 50p. (筑波大学自然学類)
- 高野真之 (2006): パターンマッチング法を用いたチベット高原におけるメソ降水系の移動特性解析. 41p. (筑波大学自然学類)
- 栗林正俊 (2007): 中国における対流圏オゾンの稲収穫量に対する影響評価. 43p. (筑波大学自然学類)

***** 競争的外部資金 *****

(科学研究費等)

- H13-18 科学技術振興機構戦略的創造研究推進事業 (CREST): 「北東アジアの植生変遷域の水循環と生物, 大気圏の相互作用の解明」 (代表: 杉田倫明, 分担: 木村富士男, 浅沼 順, 田中 正, 山中 勤) 69,534 千円 (ただし H16-18 の期間について) (再掲)
- H15-17 科研費若手研 (B): 「陸域再循環過程の定量化に関する同位体水文気象学的研究」 (代表: 山中 勤) 1,400 千円 (ただし H16-17 の期間について) (再掲)
- H17-19 科研費基盤研究 (B): 「アジアの多様な水問題に対応可能な地域・流域規模の降水量変動の把握と予測」 (代表: 木村富士男) 6,000 千円
- H19-23 地球環境研究総合推進費 S5-3: 「地球温暖化に係わる製作支援と普及啓発のための気候変動シナリオに関する総合研究」 (代表: 住 明正, 分担: 木村富士男) 33,000 千円 (ただし H19-21 の期間について)

[3] 乾燥地域における降水過程とその変動予測に関する研究

***** 総括 *****

平成 17 年度に終了した総合地球環境学研究所プロジェクト（農業生産システムに及ぼす地球温暖化の影響）では、地中海のトルコおよび域内のセイハン川流域における 2070 年代までの気候変化を解像度 20km から 8.3km でダウンスケールした。その結果、この地域の降水は、降水量の多い冬から春にかけて減少すること、アナトリア半島の多くの地域が標高 1000m 前後で冬季に降水が積雪になる限界高度をわずかに上回ることから、冬季の積雪深が大きく減少し、春から夏にかけての水資源の確保に懸念がのこることが示された（Kimura, 2005a）。

***** 研究業績 *****

●紀要・報告書・解説・Proceedings 等（査読なし）

Kimura, F. (2004): Report of Climate Sub Group 2003. *The Interim Report of ICCAP*, 11-13.

Kimura, F. (2004): Regional Climate Modeling around Mediterranean. *The Interim Report of ICCAP*, 15-17.

Kimura, F. (2004): Downscaling of GCM for prediction of regional climate change around Turkey. *Proceedings of the International Workshop for the Research Project on the Impact of Climate Change on Agricultural Production System in Arid Areas (ICCAP)*, Cappadocia, Turkey, 21-23 November, 2004.

Kimura, F. (2005a): Regional climate change in Turkey estimated by RSM pseudo warming run. *Proceedings of the International Workshop for the Research Project on the Impact of Climate Change on Agricultural Production System in Arid Areas (ICCAP)*. Kyoto, Japan, 17-18 February, 2005.

Kimura, F. (2005b): Trend in precipitation during the next 80 years in Turkey estimated by pseudo warming experiment. *The Progress Report of ICCAP*.

●招待講演

飯泉仁之直・木村富士男・林 陽生 (2005): 領域気候モデルのバイアスが作物モデルに及ぼす影響. 気候影響・利用研究会シンポジウム, つくば, 11月29日.

Kimura, F. (2008): Projection of Climate Change in Turkey-Temperature, Precipitation and Snow Cover- The Effects of Global Warming on Water Sources, Air, Environment and Mount Erciyes . Kayseri Water and Sewarage Administration, Kayseri, Turkey, 7-9 March.

●修士論文

藤原稔久 (2005): トルコ・Cukurova 平野における下層雲に及ぼす大規模灌漑の影響. 44p. (筑波大学生命環境科学研究科)

湯山健洋 (2006): トルコ・チュクロバ平野における灌漑が気候へ与える影響とメカニズムの解明. 17p. (筑波大学環境科学研究科)

●卒業論文

大澤慎吾 (2007): 大規模灌漑域周辺に発達する対流雲. 68p. (筑波大学自然学類)

草開 浩 (2007): 単純な地形・海陸分布における対流活動の日変化. 51p. (筑波大学自然学類)

***** 競争的外部資金 *****

(科学研究費等)

H17-19 科研費基盤研究 (B): 「アジアの多様な水問題に対応可能な地域・流域規模の降水量変動の把握と予測」 (代表: 木村富士男) 6,000 千円 (再掲)

[4] 陸域環境に関わる学際的・国際的研究計画の立案

***** 総括 *****

国立大学法人第1期中期目標・中期計画に対応する、陸域環境研究センター第2期中期計画においては、これまでに記載した各研究課題に係わる国際プロジェクトに加え、各種の外部資金による学際的・国際的研究計画を立案し、これを実施した。ここでは、その概要を記すことにする。

日本学術振興会二国間交流事業として、平成19年度～21年度の3年間にわたってインドネシアとの共同研究「湿潤熱帯地域における持続可能な水資源開発のための流域管理」を実施した。本交流事業は、日本とインドネシアの研究者との連携による科学的な調査活動とともに、湿潤熱帯地域における持続可能な水資源開発のための流域管理について、必要な環境診断手法と合意形成の方法論を開発・検証することを目的として実施された。特に、急速な人口増加とそれに伴う土地利用の変化が流域の水循環システムに与える影響に焦点を当てるとともに、持続可能な水資源開発のための流域管理に必要となる人材育成と合意形成に関する方法論とそのシナリオについて検討を行った（例えば Tanaka, 2008）。このため、”Integrated Watershed Management”, “Water Governance”, “Capacity Building”をテーマとして3回にわたって国際ワークショップを開催した。その一部は Tanaka ed. (2008)にまとめられている。

また、平成18年度～19年度の2年間にわたって、文部科学省教育協力拠点形成事業「国際協カイニシアティブ」が実施された。本事業では、水・環境分野における途上国に向けた知的援助リソースデータベースを構築するとともに、リソース・ニーズマッチング Web システムの開発を行った（山中ほか, 2008; 水・環境関連国際教育協力調査委員会, 2008a, Investigative Committee on Intellectual Resources and Needs Related to Water/Environmental Issues, 2008）。本事業で開発したこのリソース・ニーズマッチングシステム (IReNe データベース) は、現在、文部科学省「国際協カイニシアティブ」の汎用システムとして、農学分野をはじめとする多くの分野での教育協力の現場で使用されている。また、この IReNe データベースを用いた水資源・環境・災害教育協力モデルが、中国、インドネシアおよびモンゴルを対象に適用・実施され、モデルの最適化とその検証が行われた（水・環境関連国際教育協力調査委員会, 2008b, 2009）。その結果、IReNe データベースに基づく教育協力モデルの最適化は、各途上国のニーズを満たす真の国際協力を考える上で極めて有効な手段であることが判明した。

国際機関であるユネスコとの連携事業として、”UNESCO Chair on Sustainable Groundwater Management in Mongolia” が2008年～2009年の2年間にわたって実施された。本 UNESCO Chair は、614番目の Chair として設置され、ユネスコ本部とホスト機関（モンゴル科学アカデミー地生態学研究所）およびその支援機関としての本学との間の3者間で協定が締結された初めての Chair である。本 Chair の目的は、水資源の90%を地下水に依存しているモンゴル国において、地下水資源の適正な管理が最重要課題となっていることから、地下水研究に係わる大学教育および高度実務者教育を行うとともに、地下水のモニタリングシステムの構築とそのデータベース化の手法を確立しようとするものである。このため、本 Chair においては、現地でのセミナーやトレーニングコースを実施するとともに、2回にわたって地下水管理に関する国際シンポジウムを開催した。これら一連の活動は Technical Report

としてまとめられ (Tanaka and Janchivdorj, 2008, 2009), また Proceedings として出版されている (Tanaka *et al.*, eds. 2009a, 2009b). なお, 本 Chair は更に 2 年間延長され, 2010 年~2011 年にわたって引き続き実施されることになっている.

このほか, ユネスコ関連事業として, アジア・ユネスコ文化センター (ACCU) による 2007 年ユネスコ青年交流信託基金事業大学生交流プログラム (派遣) 「持続可能な地下水資源管理を目指して: モンゴルにおける UNESCO Chair を通じて」が実施された. 本プログラムの目的は, 世界の飲料水源の 60~80% を占める地下水を持続可能な資源として管理するために, 地下水資源が逼迫しているモンゴルと中国での体験を通じて, その問題点を日本の大学生に考えさせることである. また, ユネスコ北京事務所が東アジアにおいて展開している “持続可能な発展” に係わる各種のユネスコ事業を通じて, 国際貢献や国際交流のあり方を理解させるとともに, 同年代の学生とのコミュニケーションを通じて, 国際人としての素養を身につけさせることである. このため, 本学の学群生および大学院生 14 名を 2 週間にわたって両国に派遣し, プログラムを実施した. 本プログラムの活動内容は Tanaka ed. (2008) に取りまとめられ, また参加者の体験記も取りまとめられている (田中編, 2008).

上記のプログラムが (派遣) であったのに対し, 翌 2008 年には (受入れ) として, 「持続可能な地下水資源管理を目指して: 日本における公害改善対策活動を通じて」が実施された. 受入れとしての本プログラムの目的は, 日本における公害改善対策活動を通じて, 参加者に持続可能な水資源管理のあり方を考えさせるとともに, わが国にユネスコ IHP 事業等を通じて, 国際貢献や国際交流のあり方を理解させることである. このため, モンゴルと中国から学部・大学院生, 若手研究者・技術者, 引率教員・研究者を合わせて総勢 24 名を 2 週間にわたって招へいし, 環境省をはじめとする官公庁ならびにユネスコ関連機関や熊本大学等を訪問し, プログラムを実施した. 本プログラムの活動内容は Tsujimura and Tanaka eds. (2009) に取りまとめられている.

過去 6 年間に実施されたこれら一連の国際連携事業ならびに各研究課題で取りまとめられた国際共同研究を通じて, センターとしての 「国際連携・国際共同研究拠点」が形成されたことになり, 法人化第 2 期中期計画に向けて更なる飛躍を期待したい.

***** 研究業績 *****

●国内誌 (査読つき)

山中 勤・田中 正・辻村真貴・大倉 博・清水英幸・吉谷純一・嶋田 純・開発一郎・近藤昭彦 (2008): 国際高等教育協力における水問題・環境問題の認知構造: 数量化 3 類による知的リソース・ニーズマッピング. 水文・水資源学会誌, 21, 39-49.

●紀要・報告書・解説・Proceedings 等 (査読なし)

田中 正編 (2008): 2007 年 ACCU 大学生交流プログラム 「持続可能な地下水資源管理を目指して: モンゴルにおける UNESCO Chair を通じて」体験記 16p.

水・環境関連国際教育協力調査委員会 (2008a): IReNe データベースにもとづく水資源・環境・災害教育

- 協力の最適化指針. 筑波大学陸域環境研究センター, 190p.
- 水・環境関連国際教育協力調査委員会 (2008b): 水資源・環境・災害教育協力モデル—中国を対象とした最適化と実践検証—. 筑波大学陸域環境研究センター, 96p.
- 水・環境関連国際教育協力調査委員会 (2009): 水資源・環境・災害教育協力モデル—インドネシアおよびモンゴルを対象とした最適化と実践検証—. 筑波大学陸域環境研究センター, 59p.
- Investigative Committee on Intellectual Resources and Needs Related to Water/Environmental Issues (2008): IReNe in the field of Water & Environment. TERC, Univ. Tsukuba, 21p.
- Tanaka, T. (2008): Methodology of integrated watershed management for sustainable water resources use. *Proc. Int. Workshop on Integrated Watershed Management for Sustainable Water Use in a Humid Tropical Region, Bull. TERC, Univ. Tsukuba No. 8, Suppl. 2*, 12-17.
- Tanaka, T. ed. (2008a): *Proceedings of International Workshop on Integrated Watershed Management for Sustainable Water Use in a Humid Tropical Region. Bull. TERC, Univ. Tsukuba No. 8, Suppl. 2*, 78p.
- Tanaka, T. ed. (2008b): *For the Sustainable Groundwater Resources Management: Through the UNESCO Chair in Mongolia*. ACCU 2007 University Student Exchange Programme, TERC, Univ. Tsukuba, 176p. + Annex + CD-ROM.
- Tanaka, T. ed. (2009): *Extended Abstracts of UNESCO Chair Workshop on International Strategy for Sustainable Groundwater Management: Transboundary Aquifers and Integrated Watershed Management*. TERC, Univ. Tsukuba, 68p.
- Tanaka, T. and Janchivdorj, L. (2008): Technical Report of UNESCO Chair on Sustainable Groundwater Management in Mongolia, 2008. 37p.
- Tanaka, T. and Janchivdorj, L. (2009): Technical Report of UNESCO Chair on Sustainable Groundwater Management in Mongolia, 2009. 33p.
- Tanaka, T., Jayakumar, R. and Erdenechimeg, B. eds. (2009a): *Proceedings of UNESCO Chair Workshop on Sustainable groundwater Management in Arid and Semi-arid Regions. IHP VII Technical Document in Hydrology, No.1, UNESCO Office Beijing 2009, Document No. CN/2009/SC/RP/3*, UNESCO Office Beijing and TERC, Univ. Tsukuba, 64p.
- Tanaka, T., Jayakumar, R. and Tsujumura, M. eds. (2009b): *Proceedings of UNESCO Chair Workshop on International Strategy for Sustainable Groundwater Management: Transboundary Aquifers and Integrated Management. IHP VII Technical Document in Hydrology, No.2, UNESCO Office Beijing 2009, Document No. CN/2009/SC/RP/5*, UNESCO Office Beijing and TERC, Univ. Tsukuba, 107p.
- Tanaka, T., Tsujumura, M. and Yamanaka, T. (2009): Characteristics of infiltration and groundwater recharge processes in arid and semiarid regions. *Proc. UNESCO Chair Workshop on Sustainable groundwater Management in Arid and Semi-arid Regions, IHP VII Technical Document in Hydrology, No.1, UNESCO Office Beijing 2009, Document No. CN/2009/SC/RP/3*,

UNESCO Office Beijing and TERC, Univ. Tsukuba, 21-30.

Tsujimura, M. and Tanaka, T. (2009): Groundwater resources issues in semi-arid regions from the view point of sustainability. *Proc. UNESCO Chair Workshop on Sustainable groundwater Management in Arid and Semi-arid Regions, IHP VII Technical Document in Hydrology, No.1, UNESCO Office Beijing 2009, Document No. CN/2009/SC/RP/3*, UNESCO Office Beijing and TERC, Univ. Tsukuba, 45-50.

Tsujimura, M. and Tanaka, T. eds. (2009): *For the Sustainable Groundwater Resources Management: Trough the Japanese Activities on Countermeasures for the Remediation of Public Hazards. Report of ACCU 2008 Student Exchange Programme*, TERC, Univ. Tsukuba, 85p. + Annex + CD-ROM.

******* 競争的外部資金 *******

(科学研究費等)

H18 文部科学省拠点システム構築事業「国際教育協カイニシアティブ」：「循環を基調とした水・環境問題解決のためのキャパシティ構築: 高度実務者養成に関するリソース・ニーズマッピング」(代表: 田中 正, 分担: 木村富士男, 山中 勤, 辻村真貴) 800 千円

H19 文部科学省教育協力拠点形成事業「国際協カイニシアティブ」：「水・環境分野における知的援助リソースデータベースの拡充とインタラクティブマッチング Web システムの開発」(代表: 田中 正, 分担: 木村富士男, 山中 勤, 辻村真貴) 7,112 千円

H19 文部科学省教育協力拠点形成事業「国際協カイニシアティブ」：「知的援助リソース・ニーズデータベースにもとづく水資源・環境・災害教育協力モデルの最適化とその検証」(代表: 田中 正, 分担: 木村富士男, 山中 勤, 辻村真貴) 4,618 千円

H19 2007 年 ACCU・ユネスコ青年交流信託基金事業大学生交流プログラム(派遣)：「持続可能な地下水管理を目指して: モンゴルにおける UNESCO Chair を通じて」(代表: 田中 正, 分担: 辻村 真貴, 山中 勤) 4,700 千円

H19-21 日本学術振興会二国間交流事業共同研究: インドネシアとの共同研究「湿潤熱帯地域における持続可能な水資源開発のための流域管理」(代表: 田中 正, 分担: 山中 勤) 7,500 千円

H20 文部科学省教育協力拠点形成事業「国際協カイニシアティブ」：「水資源・環境・災害教育協力モデルの最適化: インドネシアおよびモンゴルを対象とした実践検証」(代表: 田中 正, 分担: 木村富士男, 山中 勤, 辻村真貴) 4,995 千円

H20 2008 年 ACCU・ユネスコ青年交流信託基金事業大学生交流プログラム(受入)：「持続可能な地下水管理を目指して: 日本における公害改善対策活動を通じて」(代表: 田中 正, 分担: 辻村 真貴, 山中 勤) 4,000 千円

H20-21 UNESCO Chair: 「モンゴル国における持続可能な地下水管理」(代表: 田中 正, 分担: 辻村 真貴, 山中 勤) 15,000 USD

H21 筑波大学国際連携プロジェクト:「UNESCO Chair 国際研究集会: 持続可能な地下水資源管理に関する国際戦略」(代表: 田中正, 分担: 辻村真貴, 山中勤) 1,000 千円