

平成22年6月15日現在

研究種目:基盤研究 A

研究期間:2007~2009

課題番号:19208022

研究課題名(和文)環境トレーサビリティ手法による農業地域水環境形成メカニズムの分析

研究課題名(英文)Analysis of the Hydrological Environment in Agricultural Regions Using the Method of Environment Traceability .

研究代表者

渡邊 紹裕(WATANABE TSUGIHIRO)

総合地球環境学研究所・研究推進戦略センター・教授

研究者番号:50175105

研究成果の概要(和文):環境トレーサビリティ手法を用いて、農業地域における水・物質の動態を中心に水環境形成メカニズムについて研究を実施した。その結果、表流水および地下水のトレーサーとしてD/H, $\delta^{18}\text{O}$, $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ が有効であることと、塩分のトレーサーとして $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ が有効に利用できることを確認した。そして、 $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ を用いた定量解析により、農地に集積して問題を引き起こしている塩分は、デルタ形成時に堆積した古海水の塩ではなく、灌漑水と肥料を起源とする現代の塩が支配的であることを明らかにした。

研究成果の概要(英文):This study examined hydrological environment in irrigated area, especially on dynamics of water and salt using environmental traceability method. The water quality analysis confirmed that environmental tracers, D/H, $\delta^{18}\text{O}$, and $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$, can be used as tracer of surface water and groundwater in irrigated area. It proved that the $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ can be used as tracer of salt. Quantitative analysis using the $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ revealed that the irrigation area transitioned from primary salinization formed by old seawater to secondary salinization of salt from fertilizer and irrigation water due to anthropogenic agricultural process.

交付決定額

(金額単位:円)

	直接経費	間接経費	合計
2007年度	10,100,000	3,030,000	13,130,000
2008年度	8,200,000	2,460,000	10,660,000
2009年度	6,000,000	1,800,000	7,800,000
年度			
年度			
総計	24,300,000	7,290,000	31,590,000

研究分野:農学

科研費の分科・細目:農業土木学・農村計画学

キーワード:環境分析・水質汚濁・土壌汚染・水循環・農業工学・安定同位体・トルコ・国際研究者交流

1. 研究開始当初の背景

(1)環境トレーサビリティ手法の展開

安定同位体比や元素分析の測定により、環境中の物質の起源や動態を追跡する方法を環境トレーサビリティ手法という。近年、特に安定同位体対比の測定は従来に比べて精度が格段に向

上しており、それを地域環境の評価・改善に活用する試みが進められている。

(2)農業地域の土地・水環境研究イノベーションの必要

一方、農業地域における環境評価・改善の研究は、圃場レベルに代表される比較的小さなスケー

ルでの個々の現象・機構については、近年かなり研究が進んできている。

しかし、地域レベルの土地・水環境の形成の複雑な動態の研究は十分に進んでおらず、その手法について革新的な評価・分析手法の開発が求められている。

これまでの個々の現象・過程の分析と、地域的な物質収支構造を、定量的に連携・統合させて分析評価することが求められており、それには「環境トレーサビリティ手法」の活用が有効である。

(3)研究展開の経緯・これまでの研究成果

研究代表者渡邊による農地の水環境・水収支研究と、分担者中野の農地や河川における安定同位体分析による環境研究を連携させると、集水域における農地・農業用水管理が地域の環境形成へ果たす役割を明確に表現できる可能性が高いことがわかった。

このように、地域の基礎情報に安定同位体分析を核とする物質の起源・移動経路を追跡する環境トレーサビリティ手法を組み合わせると、地域の土地・水環境形成のダイナミクスを分析・評価する新たな研究展開を確実に進めることができると考え、本研究課題を企画・申請するに至った。

2. 研究の目的

本研究は、農業地域における生産の持続性を確保する環境形成・保全のための土地・水管理の改善を目的に、地域の土地・水環境の形成メカニズムを分析・評価する方法の開発を目的とする。

安定同位体分析によって、土壌塩害を生じさせているミネラル類の起源・動態、地下水汚染を生じさせている硝酸態窒素などの経路・動態、地域の土壌・水体・生物における残留農薬の起源・動態などを明確に表現する方法を開発する。

さらに、これまでの研究で開発を進めてきた水収支構造を表現する各種水文モデル(灌漑排水管理モデル、流域水文モデル、地下水動態モデルなど)の細部の検証と、物質動態を含む統合モデルのプロトタイプ開発も目指す。

3. 研究の方法

(1)基本研究計画

①基本情報整備:これまでに収集整備した地域の気象・水文、土地・水利用、農業生産、水管理組織などの情報を、本課題の遂行用に整理し直す。

②水収支モデル改良:既存の水収支モデル(農地作物・土壌・水分動態、灌漑地水収支、流域水文・河川流量、地下水流動など)の細部の調整を図る。

③農業生産と土地・水管理分析:対象地域の作付け体系、営農技術・物質利用(肥料、農薬など)、水管理組織機能などの情報を、過去30年

程度に遡って整理する。

④系統的サンプリングと安定同位体比測定:水源、灌漑排水システムの取水地点から排水先、農地、地下水などから、水サンプルを系統的にサンプリングして、(70程度)元素の濃度と安定同位体比(D/H, $\delta^{18}\text{O}$, $^{34}\text{S}/^{32}\text{S}$, $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$, $^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$ など)を測定する。一部は測定機器の制約から、外部機関に測定を依頼する。

⑤指標物質起源・移動経路・動態分析:河川など水源や物質起源毎に同位体比の組み合わせが異なることを活用し、水収支・水文モデルと水質分析の結果から、土壌塩害、肥料による汚濁、農薬による汚染をもたらす物質の起源・移動経路、変化の動態などを分析し、定量的に表現する。

⑥土地・水管理の物質動態への影響評価:物質動態と土地・水動態の関係を、モデル群の連携と一部統合によって評価する。

⑦土地・水環境の動態管理・改善対策検討:管理の影響評価をもとに、水と物質の循環を管理する制御対象を明確にし、変化のオプション案を検討する。

⑧評価・対策検討成果の分析手法へのフィードバック:評価と対策検討のプロセスから、モデルと安定同位体比測定などに対する改良を行う。

(2)事例対象地域

①本研究では、研究実績があり、情報・体制ともに比較的整っているトルコ地中海地域のセイハン川流域(約25,000km²)を事例対象地域に設定する。

②同国東部の東南アナトリア開発プロジェクト(GAP)のハラン平原の新規開発地(ユーフラテス川アタチュルクダムが水源)も参考対象地域にする。

4. 研究成果

乾燥地域における大規模灌漑区における灌漑排水管理および塩分管理の改善を目的として、環境トレーサビリティ手法を用いて、灌漑区における水・物質循環のダイナミクスを分析した。同時に、二次元地下水流動モデルと分布型灌漑区水収支モデルの改良を進めた。さらに、衛星データを用いて塩性土壌を同定する基礎研究を進めた。

その結果、デルタ形成時に堆積した海成起源の塩類は農地土壌にはほとんど含まれないことが明らかになった。深層地下水の分析においても塩水浸入の影響は認められなかった。 $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ による定量解析の結果、問題となっている沿岸部周辺の塩分は海生起源ではなく、灌漑水と肥料起源の塩分が支配的であることが明らかになった。

二次元地下水流動モデルによる灌漑区への塩水浸入が高精度で再現できるようになった。さらに、モデル改良のために、塩性化した地下水による塩類集積メカニズムを明らかにするため、カラム試験を実施した。その結果、集積塩類と形成されたクラスト塩により、蒸発比が低下することが実験で確認された。

人工衛星に搭載されたCRHIS PROBA センサによって観測された衛星データと地上観測データを

用いて土壤塩分濃度を推定した。重回帰分析の結果、衛星データと地上観測データの間には強い正の相関が認められた。とくに、本センサはメンカ畑とコムギ畑における土壤塩分濃度の探査に向いているという結果が得られた。

環境トレーサビリティ手法を用いることにより、乾燥地域での灌漑区における水・塩分管理を量だけでなく「質(起源)」の面からも検討できる見通しがたてられた。加えて、地下水流動モデル、分布型灌漑地区水収支モデル、衛星データによる塩分探査、などを包括的に扱うことにより、農地の水環境形成メカニズムが詳細に分析できる展望が開けた。

5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文](計 26 件)

- ① Hibi, Y., K. Fujinawa, S. Nishizaki, K. Okamura, M. Tasaki, Investigation for necessity of dispersivity and tortuosity in the dusty gas model for a binary gas system in soil, *Soils and Foundations*, 査読有, Vol.50, No.1, 2010, pp.143-159
- ② 久米 崇, 梅津 千恵子, K. Palanisami, 2004 年 12 月の巨大津波によるインドタミルナドゥ州の農地における塩性化被害と回復評価, 農業農村工学会論文集, 査読有, Vol.78, No.2, 2010, pp.83-88
- ③ Kume, T., Akca, E., Nakano, T., Nagano, T., Kapur, S., Watanabe, T., Seasonal changes of fertilizer impacts on agricultural drainage in a salinized area in Adana, Turkey, *Science of the Total Environment*, 査読有, 2010, (in press)
- ④ 田中 幸夫・中山 幹康, ティグリス・ユーフラテス川を巡る国家間紛争とその解決の可能性—国際河川紛争解決要件に関する一考察, *水文・水資源学会誌*, 査読有, Vol.23, No.2, 2010, pp.144-156
- ⑤ Buyuk, G., Akca, E., Serdem, M., Isfendiyaroglu, S., Nagano, T., Kume, T., Kapur, S., Effect of 50 Years Reclamation on Soil Quality in a Sand Dune Area of Central Anatolia, *Journal of Environmental Protection and Ecology*, 査読有, 2010, (in press)
- ⑥ Hibi, Y., K. Fujinawa, S. Nishizaki, K. Okamura, M. Tasaki, Multi-component migration in the gas phase of soil: Comparison between results of experiments and simulation by dusty gas model, *Soils and Foundations*, 査読有, Vol.49, No.4, 2009, pp.569-481
- ⑦ Akca, E., Arocena, J., Kelling, G., Nagano, T., Degryse, P., Poblome, J., Cambel, H., Buyuk, G., Tumay, T., and Kapur, S., Firing Temperatures and Raw Material Sources of Ancient Hittite, *Trans. Ind. Ceram. Soc.*, 査読有, Vol.68, No.1, 2009, pp.35-40
- ⑧ T. Kume, C. Umetsu, and K. Palanisami, Impact of the December 2004 tsunami on soil, groundwater and vegetation in the Nagapattinam district, India, *Journal of Environmental Management*, 査読有, Vol.90, No.10, 2009, pp.3147-3154
- ⑨ T. Kume, T. Nagano, K. Hoshikawa, T. Watanabe, S. Donma, E. Akca, M. Serdem, S. Kapur, Impact of Irrigation Water Use on the Groundwater Environment in Turkey, *Ground Water Quality and Environment*, 査読有, 2008, pp.29-38
- ⑩ U. Chakravorty, E. Hochman, C. Umetsu, D. Zilberman, Water Allocation Under Distribution Losses: Comparing Alternative Institutions, *Journal of Economic Dynamics and Control*, 査読有, 2009, Vol.33, No.2, pp.463-476
- ⑪ T. Watanabe, T. Kume, A general adaptation strategy for climate change impacts on paddy cultivation: special reference to the Japanese context, *Paddy and Water Environment*, 査読有, 2009, Vol.7, No.4, pp.313-320
- ⑫ Fujinawa, K., Iba, T., Fujihara, Y., Watanabe, T., Modeling interaction of fluid and salt in an aquifer/lagoon system, *Groundwater*, 査読有, 2009, Vol.47, No.1, pp.35-48
- ⑬ Fujihara, Y., S.P. Simonovic, F. Topaloglu, K. Tanaka, T. Watanabe, An inverse-modelling approach to assess the impacts of climate change in the Seyhan River basin, Turkey, *Hydrological Sciences Journal*, 査読有, 2008, Vol.53, No.6, pp.1121-1136
- ⑭ Akca, E., M. Cimrin, J. Ryan, T. Nagano, M. Topaksu, S. Kapur, Differentiating the natural and man-made terraces of Lake Van, Eastern Anatolia, utilizing earth science methods, *Lake and Reservoirs*, 査読有, 2008, Vol.13, No.1, pp.83-93
- ⑮ Fujihara, Y., K. Tanaka, T. Watanabe, T. Nagano, T. Kojiri, Assessing the Impacts of Climate Change on the Water Resources of the Seyhan River Basin in Turkey: Use of Dynamically Downscaled Data for Hydrologic Simulations, *Journal of Hydrology*, 査読有, 2008, Vol.353, No.1-2, pp.33-48
- ⑯ 藤原洋一・田中賢治・渡邊紹裕・小尻利治, GCMs・ダウンスケーリング・水文モデルに起因する温暖化影響評価の不確実性, *土木学会水工学論文集*, 査読有, 2008, Vol.52,

- pp.373-378
- ⑰ Tanaka, K., Y. Fujihara, T. Kojiri, Assessing the Impact of Climate Change on the Surface Energy and Water Balance of the Seyhan River Basin Turkey, Proc, of 4th intl.Conf. on Water Resources and Environment Research, 査読有, 2008, Proc, of 4th intl.Conf., pp.1180-1189
- ⑱ 藤原 洋一・田中 賢治・渡邊 紹裕・長野 宇規・小尻 利治, 気候モデル・ダウンスケーリング手法・水文モデルによる温暖化影響評価の不確実性について, 応用水文, 査読無, 2008, No.20, pp.44-53
- ⑲ Umetsu, C., K. Palanisami, Z. Coskun, S. Donma, T. Nagano, Y. Fujihara, K. Tanaka, Climate Change and Alternative Cropping Patterns in Lower Seyhan Irrigation Project: A Regional Simulation Analysis, Journal of Rural Economics, 査読有, 2007, Special Issue, pp.567-574
- ⑳ 星川 圭介・渡邊 紹裕・長野 宇規・久米 崇, 灌漑管理に関する空間情報を取り込んだ水文モデルの開発, 農業農村工学会誌, 査読有, 2007, Vol.75, No.11, pp.15-18
- ㉑ Nakano, T., Tayasu, I., Yamada, Y., Hosono, T., Igeta, A., Hyodo, F., Ando, A., Saitoh, Y., Tanaka, T., Wada, E., Yachi, S., Effect of agriculture on water quality of Lake Biwa tributaries, Japan, Science of the Total Environment, 査読有, 2007, Vol.389, pp.132-148
- ㉒ 藤原洋一・田中賢治・渡邊紹裕・小尻利治, GCMs・ダウンスケーリング・水文モデルに起因する温暖化影響評価の不確実性, 土木学会水工学論文集, 査読有, 2008, Vol.52, pp.373-378
- ㉓ Tanaka, K., T.Kojiri, Y.fohjihara, Bias correction of the meteorological variables from RCM for hydrological application, IUGG XXIV General Assembly, Perugia, Italy, 査読有, 2007, MS0, pp.16-60
- ㉔ Sugimori, Y., Funakawa, S., Pachikin, K.M., Ishida, N., Kosaki, T., Dynamics of soil salinity in irrigated fields and its effects on paddy-based rotation system in southern Kazakhstan, Land Degradation and Development, 査読有, 2007, available on-line,
- ㉕ Funakawa, S., Kosaki, T., Potential risk of soil salinization in different regions of Central Asia with special reference to salt reserves in deep layers of soils, Soil Science and Plant Nutrition, 査読有, 2007, Vol.53, No.5, pp.634-649
- ㉖ Funakawa, S., Suzuki, R., Kanaya, S., Karbozova-Saljnijov, E., Kosaki, T., Distribution patterns of soluble salts and gypsum in soils under large-scale irrigation agriculture in Central Asia, Soil Science and Plant Nutrition, 査読有, 2007, Vol.53, No.2, pp.150-161
- [学会発表] (計 28 件)
- ① Kume, T., Sr isotope study on the impact of fertilizer in the drainage water in semi-arid irrigation district, Adana, Turkey, AGU Fall Meeting 2009, 2009.12.14-18, San Francisco, USA
- ② 久米 崇, Sr安定同位体による塩性土壌の塩類起源の推定, 農業農村工学会, 2009.8.5, 茨城県つくば市
- ③ Kume, T., Examination of Recovery of Salinization of Agricultural Area in Nagapattinam District, Tamil Nadu State, India due to December 2004 Tsunami using Strontium Isotope Measurement, 日本地球惑星科学連合大会, 2009.5.18, 千葉県幕張市
- ④ Nakayama, M., Importance of Afghanistan from Viewpoint of International River Management, Kabul University - Tokyo University of Agriculture and Technology - University of Tokyo JOINT SEMINAR, 2009.3.6, 千葉県柏市
- ⑤ Fujinawa, K., Impacts of climate change on subsurface water environment, The 17th Joint GCC/Japan Environment Symposium, 2009.3.10-12, State of Kuwait
- ⑥ Umetsu, C., Climate change and alternative cropping patterns in lower Seyhan irrigation project: a regional simulation analysis with MRI-CGCM and CCSR-CGCM, The IARU International Scientific Congress "Climate Change: Global Risks, Challenges and Decisions", 2009.3.10-12, Copenhagen, Denmark
- ⑦ Kume, T., Impact of climate changes on wheat yield of semi-arid region and rice cropping in Japan, PAWEES 2008 7th Conference and Annual Meeting, 2008.10.27-29, Taipei, Taiwan
- ⑧ Tanaka, Y., Identification of water-land use and salt accumulation in the Harran Basin -Research perspective, International Workshop on Effects of Land Management on Natural Resources and Socioeconomy in GAP Region, 2008.7.9, Adiyaman, Turkey
- ⑨ 藤縄 克之, 異なる塩分濃度を持つラグーン存在下での海岸帯水層への塩水浸入に関する研究, 日本地下水学会, 2007.11.1, 長野県長野市
- ⑩ 藤原 洋一, 温暖化がセイハン川流域の水資源に及ぼす影響評価, 農業農村工学会, 2007.8.29, 島根県松江市
- ⑪ Umetsu, C., Climate Change and Alternative

Cropping Patterns in Lower Seyhan Irrigation Project: A Simulation Analysis with MRI-GCM and CCSR-GCM, 農業農村工学会, 2007.8.29, 島根県松江市

- ⑫ KUME, T., Impact of irrigation water use on the groundwater environment and the soil salinity, 農業農村工学会, 2007.8.29, 島根県松江市
- ⑬ Tanaka, Y., Application of GIS/RS and Operations Research to Improvement of Land Use and Cropping Patterns in Euphrates-Tigris Basin, 4th Annual Meeting of AOGS, 2007.8.4, Bangkok, Thailand

[図書] (計 9 件)

- ① Umetsu, C., Taniguchi, M., Watanabe, T., Yachi, S., Transdisciplinary Research in Watershed Conservation: Experiences, Lessons, and Future Directions. J. A. Roumasset, K. Burnett, and A.M. Balisacan (Eds.) "Sustainability Science for Watershed Landscapes", Singapore: Institute of Southeast Asia Studies, Los Banos, Philippines: Southeast Asian Regional Center for Graduate Study and Research in Agriculture, 2010, pp.77-102
- ② 藤縄 克之, 環境地下水学, 共立出版, 2010, p.354
- ③ Fujihara, Y., Watanabe, T., Nagano, T., Tanaka, K. and Kojiri, T., Adapting to climate change on the water resources systems of the Seyhan River Basin in Turkey, M. Taniguchi, W.C. Burnttt, Y. Fukushima, M. Haigh & Y. Umezawa (Eds.) "From Headwaters to the Ocean: Hydrological Changes and Watershed Management", Taylor and Francis, 2009, pp.257-264
- ④ Nagano, T., Hoshikawa, K., Onishi, T., Kume, T. and Watanabe, T., Long-term changes in water and salinity management in Lower Seyhan Plain, Turkey, M. Taniguchi, W.C. Burnttt, Y. Fukushima, M. Haigh & Y. Umezawa (Eds.) "From Headwaters to the Ocean: Hydrological Changes and Watershed Management", Taylor and Francis, 2009, pp.313-320
- ⑤ 久米 崇, 乾燥地の土地劣化とその対策 (乾燥地科学シリーズ 3), モニタリングによる土壌の塩分評価, 古今書院, 2008, pp.171-188
- ⑥ 長野 宇規, 地球温暖化と農業, 地球温暖化で水循環はどうなるのか, 昭和堂, 2008, pp.69-115
- ⑦ 渡邊 紹裕, 地球温暖化と農業, 昭和堂, 2008, p.221, (編著)

- ⑧ Umetsu, C., Climate Change and Alternative Cropping Patterns in Lower Seyhan Irrigation Project: A Simulation Analysis in K.Palanisami, C.Umetsu, C.Ramasamy (Eds.) "Groundwater Management: Issues and Interventions", New Delhi: Macmillan India Ltd., 2007, pp.191-202

6. 研究組織

(1) 研究代表者

渡邊 紹裕 (WATANABE TSUGIHIRO)
総合地球環境学研究所・
研究推進戦略センター・教授
研究者番号: 50175105

(2) 研究分担者

中野 孝教 (NAKANO TAKANORI)
総合地球環境学研究所・
研究推進戦略センター・教授
研究者番号: 20155782
(H20-H21 年度: 連携研究者)
梅津 千恵子 (UMETSU CHIEKO)
総合地球環境学研究所・研究部・准教授
研究者番号: 40294251
(H20-H21 年度: 連携研究者)
藤縄 克之 (FUJINAWA KATSUYUKI)
信州大学・工学部・教授
研究者番号: 00219031
(H20-H21 年度: 連携研究者)
中山 幹康 (NAKAYAMA MIKIYASU)
東京大学・新領域創成科学研究科・教授
研究者番号: 10217945
(H20-H21 年度: 連携研究者)
長野 宇規 (NAGANO TAKANORI)
神戸大学・大学院農学研究科・准教授
研究者番号: 70462207
(H20-H21 年度: 連携研究者)
田中 賢治 (TANAKA KENJI)
京都大学・防災研究科・准教授
研究者番号: 30283625
(H20-H21 年度: 連携研究者)
久米 崇 (KUME TAKASHI)
総合地球環境学研究所・研究部・
プロジェクト上級研究員
研究者番号: 70462207
(H20-H21 年度: 連携研究者)
星川 圭介 (HOSHIKAWA KEISUKE)
京都大学・地域研究統合情報センター・助教
研究者番号: 20444039
(H20-H21 年度: 連携研究者)
小崎 隆 (TAKASHI KOSAKI)
京都大学・地球環境学堂・教授
研究者番号: 00144345

(H19 年度:研究分担者、H20-H21 年度参画なし)

(3)連携研究者

田中 幸夫(YUKIO TANAKA)
東京大学「水の知」(サントリー)総括寄付講座・特任助教
研究者番号:90463893
藤原 洋一(FUJIHARA YOICHI)
国際農林水産業研究センター・研究員
研究者番号:60199396

(4)研究協力者

Andreas Langner
京都大学大学院農学研究科・研究員
Aysun Uyar
総合地球環境学研究所・助教
芝井 隆
神戸大学・大学院農学研究科・大学院生
小寺 昭彦
農業環境技術研究所・農環研特別研究員
Erhan Akca
Assistant Prof., Adiyaman Univ., Turkey
Selim Kapur
Prof., Cukurova Univ., Turkey
Suha Berberoglu
Associate Prof., Cukurova Univ., Turkey
Sevgi Donma
State Hydraulic Works-RD No. VI, Turkey
Gokuhan Buyuk
Assistant Prof., Vocational School of Kahta,
Adiyaman Univ., Turkey