

科学研究費助成事業（科学研究費補助金）研究成果報告書

平成25年 5月28日現在

機関番号：14301
 研究種目：基盤研究(B)
 研究期間：2010～2012
 課題番号：22370011
 研究課題名（和文） 放射性炭素および分子レベル同位体解析を用いた、
 炭素循環と生態系構造の関係の解明
 研究課題名（英文） Study of ecosystem structure and carbon cycling using radiocarbon
 concentration and molecular level isotope analysis
 研究代表者 陀安 一郎（TAYASU ICHIRO）
 京都大学・生態学研究センター・准教授
 研究者番号：80353449

研究成果の概要（和文）：

本研究においては、放射性炭素 14 の分析と、炭素・窒素安定同位体比およびアミノ酸窒素同位体比を用いて、集水域レベルの炭素循環と生態系構造の関係を研究した。 $\Delta^{14}\text{C}$ 値の測定を行なうことによって、陸域由来の隔離された炭素と大気 CO_2 起源の炭素が混合されて河川食物網に取り込まれていることが示された。その比率は河川内部生産と外部生産の比率に依存することが分かった。

研究成果の概要（英文）：

We have done a watershed-level study of the relationship between carbon cycling and ecosystem structure using the measurement of carbon-14 concentrations ($\Delta^{14}\text{C}$ value) and nitrogen isotope ratios of individual amino acids. $\Delta^{14}\text{C}$ value indicated that carbon source of river food web was both sequestered carbon from watershed and ambient CO_2 . The contribution of both pathways depended on the relative importance of algal production (in-stream production) and terrestrial litter input.

交付決定額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2010年度	6,200,000	1,860,000	8,060,000
2011年度	4,100,000	1,230,000	5,330,000
2012年度	4,100,000	1,230,000	5,330,000
年度			
年度			
総計	14,400,000	4,320,000	18,720,000

研究分野：同位体生態学

科研費の分科・細目：基礎生物学、生態・環境

キーワード：放射性炭素 14、安定同位体比、炭素循環、食物網、生態系、アミノ酸、河川生態系、土壌生態系

1. 研究開始当初の背景

IPCC-4 次評価報告書(2007)によれば、産業革命以降の二酸化炭素の増加は、主に化石燃料の使用および土地利用の変化によるとされている。炭素循環の擾乱は、陸面においては集水域物質代謝を通して地球規模に連関しており、幅広い波及効果を及ぼす。例えば、

ミシシッピー川流域における大規模な畑作が土壌経由で溶存態無機炭素を海洋へ流していることが近年分かってきた。また、溶存態有機炭素の動態に関しても、森林生態系の管理に影響されていることがわかりつつあり、河川を流れる溶存態有機炭素の量は森林から流出する硝酸態窒素の量に逆相関する

ことが示されている。すなわち、生態系の状態が炭素循環に影響を与えることが明らかになりつつあり、二酸化炭素上昇が顕著な現在における炭素循環過程と、実際の炭素代謝を行う生態系の状態との関係を解析する適切な研究方法が求められている。

一方、生物多様性の観測・保全について議論が盛んに行われるようになってきているが、IPCC の主要議題である炭素循環とからめて議論されることが少ない。「環境問題」として世間に認知されている炭素循環と、世間にあまり認識されていないが非常に重要な環境問題である生物多様性・生態系の変化の間の関係を明らかにすることは、生態学者に課せられた重要な課題である。

2. 研究の目的

本研究は、研究代表者が近年進めてきた2つの手法：天然に存在する放射性炭素 14 を用いた「生態系時間軸構造の解明」、および炭素・窒素安定同位体解析による生態系構造（食物網構造・物質循環系）の解明を融合し、炭素循環とそれを駆動している生態系構造の関係を解明を行うことを目的とした。研究対象は陸域生態系・水域生態系を統合した集水域レベルとし、生態系構造の観点から炭素動態に関するメカニズムの解明を行う。それによって、生態系の炭素循環にかかわる生物多様性のありかたについての知見を得ることを目的とした。

まず、生態系を移動する炭素の循環過程を、天然に存在する放射性炭素 14 を用いて記述するとともに、その動態に影響を与えている生態系構造に関して、各種安定同位体比を用いて解析した。具体的には、陸域生態系から河川生態系を通して水域生態系（湖沼）へ移流する炭素の動態と、生態系（食物網構造・栄養塩類・有機物）の動態を解析した。

また、最新鋭の分析システムを活用し、分子レベル安定同位体解析（特に、アミノ酸の窒素同位体解析）を用いた高解像度の食物網解析を行った。アミノ酸の窒素同位体比は、生産者の同位体変動に影響されない栄養段階を示すという有効性があるが、実際の河川生態系においては適用された例がなかった。

これら2つの最先端の同位体分析を用いることにより、生物の代謝が炭素循環を規定しているという観点から、集水域（陸域および水域）の生態系構造の視点でメカニズム解明を行った。

3. 研究の方法

(1) 河川生態系の炭素源は、河川外部生産由来の炭素（粒状有機物：落ち葉など）と河川内部生産由来の炭素（付着藻類など）によって支えられている。河川連続体仮説によると、河川上流域においては森林によって覆わ

れているために、内部生産に比べて外部生産が卓越すると予測される。また、河川中流域においては河道上空が開けるために内部生産が活発になると言われている。本研究においては、河川生態系の炭素の由来を研究するために、河川生態系の生産基盤の $\delta^{13}\text{C}$ 値および $\Delta^{14}\text{C}$ 値を比較した。

(2) 河川外部由来の炭素の $\Delta^{14}\text{C}$ 値は、大気 CO_2 に由来するために、大気 CO_2 の $\Delta^{14}\text{C}$ 値と一致すると考えられる。一方、河川内部生産の $\Delta^{14}\text{C}$ 値は、基質として溶存態の CO_2 を用いて付着藻類が生産するために、溶存態の CO_2 の起源によって $\Delta^{14}\text{C}$ 値が変化すると考えられる。そこで、琵琶湖に流入する多数の河川において付着藻類、および普遍的に生息する魚類であるヨシノボリの $\Delta^{14}\text{C}$ 値を比較検討した。

(3) 土壌は生物圏で最も多くの炭素を貯蔵しており、温度上昇による土壌炭素の滞留時間の変化について近年多くの研究がなされている。しかし、土壌動物が餌として利用している有機物の滞留時間（食物年齢）についての知見は極めて乏しい。そこで、様々な気候帯から採集したミミズの放射性炭素同位体分析を行い、気候条件がミミズの利用する食物年齢に与える影響を調べた。

(4) アミノ酸窒素同位体比は、近年急速に食物網研究に取り入れられている。特にグルタミン酸(Glu)とフェニルアラニン(Phe)の窒素同位体比の差を用いて、栄養段階(TL)は以下のように計算される。すなわち、 $\text{TL}_{\text{Glu/Phe}} = (\delta^{15}\text{N}_{\text{Glu}} - \delta^{15}\text{N}_{\text{Phe}} + \beta)/7.6 + 1$ と表現される（ここで β は水域生産者で-3.4‰、陸上 C3 植物で+8.4‰と見積もられている：Chikaraishi et al. 2009）。ところが、水域生産と陸域生産の両方の起源を持つ河川生態系では、単純にこの式を用いた栄養段階推定が行えないと想像できる。そこで、本研究は実際の河川生態系においてアミノ酸窒素同位体比法が利用できるか検討した。本研究においては、琵琶湖集水域河川において調査した。特に人間影響の大きな野洲川の上流、および人間影響の比較的少ない安曇川の上流において研究を行った。

4. 研究成果

(1) 集水域に石灰岩を多く含む滋賀県芹川上流域において、明ノ瀬、明ノ淵、暗ノ瀬、暗ノ淵の4環境において、礫上付着物（付着藻類）と陸上起源である POM の $\delta^{13}\text{C}$ 値および $\Delta^{14}\text{C}$ 値とを比較した。その結果、これらの環境条件によって、礫上付着物の $\delta^{13}\text{C}$ 値は大きく変動して陸上起源の POM の $\delta^{13}\text{C}$ 値と差があつたりなかつたりしたのに対

し、 $\Delta^{14}\text{C}$ 値は明確な違いがあった (図1)。この両者の結果は、 $\delta^{13}\text{C}$ 値がマイクロビタットで変化するのに対し、 $\Delta^{14}\text{C}$ 値は炭素源の違いによっては変化するがマイクロビタットでは変化が少ないことが明らかになった。これは、河川生態系の炭素起源の推定のためには $\Delta^{14}\text{C}$ 値の方がよりロバストな見積もりを与えることを示す。

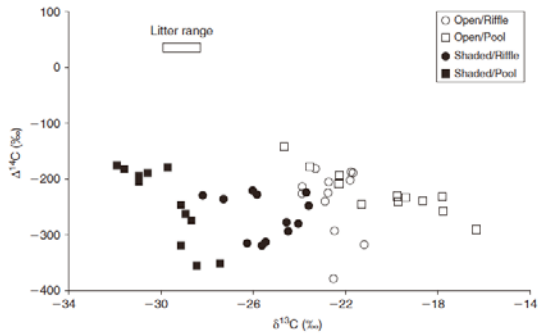


図1 Ishikawa et al. (2012)より引用。陸域由来 POM(Litter range)と比較して、礫上付着物(付着藻類)の $\delta^{13}\text{C}$ 値は重なる場合があるが、 $\Delta^{14}\text{C}$ 値では重ならず両者が分けられることを示す。

(2) 琵琶湖に流入する多数の河川の比較研究から、流域の無機・有機炭素画分の $\Delta^{14}\text{C}$ 値は母岩に影響されて大きく変動する部分と、母岩に関わらず集水域に影響されて変動する部分の混合によることがわかった。すなわち、流域に石灰岩を含む河川の付着藻類は著しく低い $\Delta^{14}\text{C}$ 値を持つため陸域由来の $\Delta^{14}\text{C}$ 値と大きく異なるが、流域に石灰岩を持たない河川においても $\Delta^{14}\text{C}$ 値は陸上生産由来の $\Delta^{14}\text{C}$ 値とは異なる値を示すことが分かった (図2)。

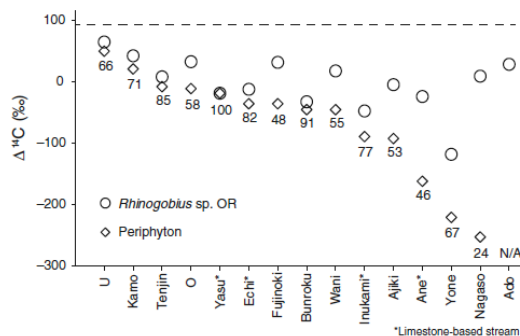


図2 Ishikawa et al. in press より引用。陸上由来 POM (点線) と礫上付着物 (付着藻類) の $\Delta^{14}\text{C}$ 値は各河川で変動するが、その間に高次消費者であるヨシノボリの $\Delta^{14}\text{C}$ 値が存在する。

これは、一般の河川においても $\Delta^{14}\text{C}$ 値を用いて生産起源の推定を行なうこと、また食物網全体の炭素起源を明らかにすることができることを示す。これらをまとめて総説を執筆した(Ishikawa et al. in press)。

(3) ミミズの食物年齢は、食性(リター食や土壌食)ごとに有意に異なったが、気候条件による有意な差は見られず土壌食ミミズで約10年であった。このことは、ミミズが利用する土壌有機物の分解速度が、気温ではなく、土壌構造や植生によって決まっている可能性があることを示している。

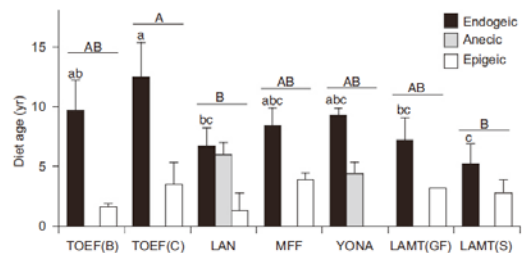


図3 Hyodo et al. (2012)より引用。いろいろな食性のミミズによって食物年齢は異なるが、気候条件についてはあまり異なるない。

(4) 人間影響の大きな野洲川においては河川生物の窒素同位体比は下流に行くほど上昇した。一方、人間影響の比較的少ない安曇川の河川生物においては下流においても上流と同じ程度の窒素同位体比を示した。アミノ酸窒素同位体比を利用した栄養段階推定を行なった結果、河川内部生産と外部生産の混合系である河川生態系では、それぞれの生産基盤の起点となるアミノ酸窒素同位体比(水域生産および陸上生産)を求める必要があることが分かった。それらを用いて、窒素同位体比混合モデルをたてることにより、付着藻類生産起源と陸上植物生産起源の割合を求めること、また、その条件下での栄養段階推定ができることを示した。

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17件)

- (1) Ishikawa, N.F., Hyodo, F. and Tayasu, I. Use of natural abundances of carbon-13 and carbon-14 for stream ecology. *Ecological Research*, in press(2013) [査読有]
DOI: 10.1007/s11284-012-1003-z
- (2) Imura, Y., Fujimoto, M., Tamura, K., Higashi, T., Kondo, M., Uchida, M., Yonebayashi, K. and Fujitake, N. Black humic acid dynamics during natural reforestation of Japanese

- pampas grass (*Miscanthus sinensis*). *Soil Biology and Biochemistry*, 57: 60-67(2013) [査読有]
DOI: 10.1016/j.soilbio.2012.07.011
- (3) 陀安一郎・石川尚人 生物の同位体天然存在比と生物多様性科学. *ぶんせき*, 2月号 79-85(2013) [査読無]
- (4) Sakai, Y., Karube, Z., Takeyama, T., Kohzu, A., Yoshimizu, C., Nagata, T., Tayasu, I. and Okuda, N. Seasonal and site-specific variability in terrigenous particulate organic carbon concentration in near-shore waters of Lake Biwa, Japan. *Limnology*, 14: 167-177 (2013) [査読有]
DOI: 10.1007/s10201-012-0394-4
- (5) Ichie, T., Igarashi, S., Yoshida, S., Kenzo, T., Masaki, T. and Tayasu, I. Are stored carbohydrates necessary for seed production in temperate deciduous trees? *Journal of Ecology*, 101: 525-531(2013) [査読有]
DOI: 10.1111/1365-2745.12038
- (6) Haraguchi, T.F., Uchida, M., Shibata, Y. and Tayasu, I. Contributions of detrital subsidies to aboveground spiders during secondary succession, revealed by radiocarbon and stable isotope signatures. *Oecologia*, 171: 935-944 (2013)[査読有]
DOI: 10.1007/s00442-012-2446-1
- (7) Arai, M., Tayasu, I., Komatsuzaki, M., Uchida, M., Shibata, Y. and Kaneko, N. Changes in soil aggregate carbon dynamics under no-tillage with respect to earthworm biomass revealed by radiocarbon analysis. *Soil & Tillage Research*, 126: 42-49 (2013) [査読有]
DOI: 10.1016/j.still.2012.07.003
- (8) Kim Y., Kim S.D., Enomoto H., Kishida K., Kondo M., Uchida M. Latitudinal distribution of soil CO₂ efflux and temperature along the Dalton Highway, Alaska. *Polar Science*, in press(2012) [査読有]
<http://dx.doi.org/10.1016/j.polar.2012.11.002>
- (9) Hyodo, F., Uchida, T., Kaneko, N. and Tayasu, I. Use of radiocarbon to estimate diet ages of earthworms at different climate regions. *Applied Soil Ecology*, 62: 178-183 (2012) [査読有]
DOI: 10.1016/j.apsoil.2012.09.014
- (10) Mori K., Ise T., Kondo M., Kim Y., Enomoto H. and Uchida, M. The effect of the feedback cycle between the soil organic carbon and the soil hydrologic and thermal dynamics. *Open Journal of Ecology*, 2: 90-95 (2012) [査読有]
- (11) Yonekura, Y., Ohta, S., Kiyono, Y., Aksa, D., Morisada, K, Tanaka, N. and Tayasu, I. Dynamics of soil carbon following destruction of tropical rainforest and the subsequent establishment of *Imperata* grassland in Indonesian Borneo using stable carbon isotopes. *Global Change Biology*, 18: 2606-2616 (2012) [査読有]
DOI: 10.1111/j.1365-2486.2012.02722.x
- (12) Anderson, B., Kawakita, A. and Tayasu, I. Sticky plant captures prey for symbiotic bug: Is this digestive mutualism? *Plant Biology*, 14: 888-893 (2012) [査読有]
DOI: 10.1111/j.1438-8677.2012.00573.x
- (13) Karube, Z., Okada, N. and Tayasu, I. Sulfur stable isotope signature identifies the source of reduced sulfur in benthic communities in macrophyte zones of Lake Biwa, Japan. *Limnology*, 13: 269-280(2012) [査読有]
DOI: 10.1007/s10201-012-0375-7
- (14) Ishikawa, N.F., Uchida, M., Shibata, Y. and Tayasu, I. Natural C-14 provides new data for stream food web studies: a comparison with C-13 in multiple stream habitats. *Marine and Freshwater Research*, 63: 210-217(2012) [査読有]
DOI: 10.1071/MF11141
- (15) Hyodo, F., Nishikawa, J., Kohzu, A., Fujita, N., Saizen, I., Tsogtbaatar, Javzan, C., Enkh TUYA, M., Gantomor, D., Amartuvshin, N., Ishii, R. and Wada, E. Variation in nitrogen isotopic composition in the Selenga river watershed, Mongolia. *Limnology*, 13: 155-161(2012) [査読有]
DOI: 10.1007/s10201-011-0351-7
- (16) Tayasu, I., Hirasawa, R., Ogawa, N.O., Ohkouchi, N. and Yamada, K. New organic reference materials for carbon- and nitrogen-stable isotope ratio measurements provided by Center for Ecological Research, Kyoto University, and Institute of Biogeosciences, Japan Agency for Marine-Earth Science and Technology. *Limnology*, 12: 261-266(2011) [査読有]
DOI: 10.1007/s10201-011-0345-5
- (17) Itoh, M., Takemon, Y., Makabe, A., Yoshimizu, C., Kohzu, A., Ohte, N., Tumurskh, D., Tayasu, I., Yoshida, N. and Nagata, T. Evaluation of wastewater nitrogen transformation in a natural wetland (Ulaanbaatar, Mongolia) using dual-isotope analysis of nitrate. *Science of the Total Environment*, 409:1530-1538 (2011) [査読有]
DOI: 10.1016/j.scitotenv.2011.01.019

[学会発表] (計 28 件)

- (1) 富樫博幸・加藤義和・石川尚人・吉村真由美・徳地直子・大手信人・由水千景・陀安一郎「森林施業が河川生態系へ及ぼす長期的影響とその解明: 安定同位体比を利

- 用して」第124回日本森林学会大会. 岩手大学. 2013.3.27
- (2) 陀安一郎・長谷川尚志・由水千景・カ石嘉人・小川奈々子・大河内直彦「アミノ酸窒素同位体比を用いた、陸域分解系における土壤動物の資源利用解析」日本生態学会第60回大会. グランシップ, 静岡. 2013.3.7
- (3) 原口 岳・陀安一郎「植生二次遷移過程における、クモ群集及びエサ供給量の変化と同位体食物網の関係」日本生態学会第60回大会. グランシップ, 静岡. 2013.3.7
- (4) 富樫博幸・加藤義和・石川尚人・尾坂兼一・吉村真由美・由水千景・徳地直子・陀安一郎・大手信人「ミカン畑と魚類をつなぐ硝酸：土地利用が河川生態系へ及ぼす影響に関する安定同位体解析」日本生態学会第60回大会. グランシップ, 静岡. 2013.3.7
- (5) 加藤義和・石川尚人・富樫博幸・由水千景・陀安一郎・奥田昇「アミノ酸の窒素安定同位体比を用いた琵琶湖産魚類の栄養段階推定」日本生態学会第60回大会. グランシップ, 静岡. 2013.3.7
- (6) 石川尚人・加藤義和・富樫博幸・吉村真由美・由水千景・奥田昇・陀安一郎「河川複雑系食物網の高精度解析 ～アミノ酸窒素安定同位体比からのアプローチ～」日本生態学会第60回大会. グランシップ, 静岡. 2013.3.7
- (7) 陀安一郎「同位体生態学の進展と生物多様性研究」第2回同位体環境学シンポジウム(招待講演). 総合地球環境学研究所, 京都. 2013.2.19
- (8) Mori K., Ise T., Kondo M., Kim Y., Enomoto, H. and Uchida, M. 「The effect of the feedback cycle between the soil organic carbon and the soil hydrologic and thermal dynamics」 Third International symposium on the Arctic Research. 日本科学未来館, 東京. 2013.1.16
- (9) Kondo, M., Uchida, M., Shibata, Y., Iwata, H. and Harazono, Y. 「Estimation of Carbon loss by fire in a burned black spruce forest in interior Alaska using radiocarbon」 AGU Fall meeting 2012. San Francisco, USA. 2012.12.4 [国外]
- (10) 柴田淳也・苅部甚一・酒井陽一郎・武山智博・陀安一郎・佐藤祐一・谷内茂雄・中野伸一・奥田昇「琵琶湖沿岸生態系の生物多様性に影響を及ぼす駆動因」日本陸水学会第77回大会. 名古屋大学. 2012.9.16
- (11) 富樫博幸・加藤義和・石川尚人・吉村真由美・徳地直子・大手信人・由水千景・陀安一郎「アミノ酸の窒素安定同位体比から読み解く山地渓流域の食物網構造-護摩壇山試験地の事例-」日本陸水学会第77回大会. 名古屋大学. 2012.9.16
- (12) 加藤義和・石川尚人・富樫博幸・吉村真由美・由水千景・奥田昇・陀安一郎「アミノ酸の窒素安定同位体比を用いた琵琶湖流域の食物網解析」日本陸水学会第77回大会. 名古屋大学. 2012.9.16
- (13) 石川尚人・内田昌男・柴田康行・陀安一郎「放射性炭素14天然存在比を用いた陸水生態系の解析手法」日本陸水学会第77回大会. 名古屋大学. 2012.9.16
- (14) 原口 岳・陀安一郎「植生二次遷移過程におけるクモ群集変化の特徴」日本蜘蛛学会第44回大会. 山形市保健センター. 2012.8.25
- (15) Kondo, M., Uchida, M., Kishimoto, A., Yonemura, S., Wagai, R., Jomura, M. and Shibata, Y. 「Radiocarbon based organic source identification of soil CO₂ under soil warming in a cultivated Andisol」 21st International Radiocarbon conference. Paris France. 2012 7 13 [国外]
- (16) Tayasu, I., Okuda N., Tokuchi N., Ohte N., and Kondoh M. 「Multiple isotope approach for studying material flow and food web structures of stream ecosystems in Lake Biwa watershed.」 ASLO Summer Meeting. 滋賀大津市. 2012.7.12
- (17) Okuda, N., Kato, Y., Komiya, T., Okuzaki, Y., Hori, M., Tayasu, I., and Nagata, T. 「Biological specimens tell us a centurial history of ecosystem alterations in the ancient Lake Biwa.」 ASLO Summer Meeting. 滋賀県大津市. 2012.7.12
- (18) Ishikawa N., Uchida, M., Shibata, Y. and Tayasu I. 「Evidence of old carbon subsidization to stream food webs approached by C-14 natural abundance method.」 ASLO Summer Meeting. 滋賀県大津市. 2012.7.11
- (19) Yoshimizu, C. and Tayasu I. 「Alteration of nitrogen isotopic composition during microbial decomposition of suspended particulate organic matter.」 ASLO Summer Meeting. 滋賀県大津市. 2012.7.12
- (20) Kato, Y., Ishikawa, N.F., Togashi, H., Yoshimura, M., Itoh, M., Osaka, K., Okuda, N., Ohte, N. Yoshimizu, C. and Tayasu I. 「Food web analysis based on $\delta^{15}\text{N}$ of amino acid in river ecosystem.」 ASLO Summer Meeting. 滋賀県大津市. 2012.7.11
- (21) Togashi, H., Kato, Y., Ishikawa, N. F., Yoshimura, M., Tokuchi, N., Ohte, N., Okuda, N. and Tayasu, I. 「A difference in food web structures with various forest stand ages in headwater streams in central japan.」 ASLO Summer Meeting. 滋賀県大津市. 2012.7.12
- (22) Makabe, A., Koba, K., Yoshimizu, C., Tayasu, I., Ogawa, N. O., Ohkouchi, N., Toyoda, S., Yoshida, N. and Nagata, T. 「Fate

of atmospheric nitrate and nitrogen biogeochemical processes in lake Biwa elucidated by multiple oxygen isotopes.] ASLO Summer Meeting. 滋賀県大津市. 2012.7.12

- (23) 富樫博幸・徳地直子・陀安一郎「山地溪流域の食物連鎖長: 決定機構に果たす生産性の役割」日本生態学会第59回大会. 龍谷大学. 2012.3.20
- (24) 田中洋・兵藤不二夫「森林の遷移段階にともなうアリ群集の食性変化」日本生態学会第59回大会. 龍谷大学. 2012.3.19
- (25) Itoh, M., Tayasu, I., Yoshimizu, C. and Ohte, N. 「High-throughput measurement for stable isotope analysis of dissolved organic carbon, using wet chemical oxidation.」 AGU Fall Meeting. San Francisco, USA. 2011.12.6 [国外]
- (26) 伊藤雅之・陀安一郎・由水千景・大手信人「溶存有機炭素の炭素安定同位体比のハイスループットオンライン分析手法の開発」日本陸水学会第76回大会. 島根大学. 2011.09.23
- (27) 石川尚人・内田昌男・柴田康行・陀安一郎「流域地質が河川食物網を流れる炭素の¹⁴C年代に及ぼす影響」日本陸水学会第76回大会. 島根大学. 2011.09.23
- (28) Ishikawa N., Uchida, M., Shibata, Y. and Tayasu, I. 「Natural carbon-14 signature provides new data for stream food web studies.」 96th ESA Annual Meeting. Austin, USA. 2011.8.9 [国外]

[図書] (計2件)

- (1) 陀安一郎「安定同位体比を用いた高次生産者の栄養段階の推定」*In*:永田俊・熊谷道夫・吉山浩平 編、温暖化の湖沼学, 京都大学学術出版会 p.210-211 総ページ数290
- (2) 陀安一郎・苅部甚一・石川尚人「同位体の利用法」*In*:日本生態学会 編、吉田 丈人・鏡味 麻衣子・加藤 元海 担当編集委員、現代生物学講座第9巻 「淡水生態学のフロンティア」, 共立出版 pp.122-131総ページ数269

6. 研究組織

(1)研究代表者

陀安 一郎 (TAYASU ICHIRO)

京都大学・生態学研究センター・准教授
研究者番号: 80353449

(2)研究分担者

内田 昌男 (UCHIDA MASAO)

(独)国立環境研究所・環境計測研究センター・主任研究員

研究者番号: 50344289

(3) 研究分担者

兵藤 不二夫 (HYODO FUJIO)

岡山大学・異分野融合先端研究コア・助教

研究者番号: 70435535