

日本学士院
エジンバラ公賞
受賞者
和田英太郎



専攻学科学目	同位体生態学
生年	昭和一四年九月
略歴	昭和三七年三月 同 四二年三月 同 四二年三月 同 四二年一月 同 四九年一〇月 同 五一年四月 平成 元年四月 同 三年七月 同 八年四月 同 一三年四月 同 一四年三月 同 一六年八月 同 一七年八月
	東京教育大学理学部化学科卒業 東京教育大学大学院理学研究科博士課程修了 理学博士 東京大学海洋研究所助手 米国テキサス大学海洋研究所客員研究員（昭和五〇年二月まで） （株）三菱化成生命科学研究所室長 （株）三菱化成生命科学研究所部長 京都大学生態学研究所センター教授 京都大学生態学研究所センター長 総合地球環境学研究所教授 京都大学名誉教授 独立行政法人海洋研究開発機構地球環境フロンティア研究センター生態系変動予測プログラムディレクター（現在に至る） 総合地球環境学研究所名誉教授

理学博士和田英太郎氏の「流域単位の生態系の多様な構造の解明と環境変動への応答に関する研究——とくに安定同位体フィンガープリント法を駆使したその総合——」に対する授賞審査要旨

和田英太郎氏は、四〇年以上前から自然界における窒素・炭素の分布に関する研究を行い、安定同位体を指標とした同位体生態学・生物地球化学の構築と統合に関する経験則を提示した。特に食物連鎖における $\delta^{15}\text{N}$ 濃縮現象を発見し、

$$\begin{aligned} \delta^{15}\text{N}(\text{動物}) &= 3.3(\text{Trophic Level} - 1) + \delta^{15}\text{N}(\text{植物}) \\ \delta^{13}\text{C}(\text{動物}) &= 1.9(\text{Trophic Level} - 1) + \delta^{13}\text{C}(\text{植物}) \\ (n) & \pm 0.0.2 \text{ の範囲、TL は植物を 1 とした食物連鎖における} \\ & \text{栄養段階} \end{aligned}$$

の一般式を提示し、 $\delta^{15}\text{N}$ と $\delta^{13}\text{C}$ の関係において、安定同位体食物網モデルを提案した。これによって、食物連鎖を中心とする群集生態学の研究が、国際的にも飛躍的に進み、それまで不明瞭であった生物群集の構造と機能が物質循環との関連も含めて解析が可能となっ

た。すなわち、生態学と生物地球化学を統合して、地球環境の変動変化に対する群集生態系の応答を研究することに先駆的な道を開いた。この成果はさらに広く発展して考古学や現代人の食物網解析・食料循環系の解析など現在の環境問題解析法である安定同位体トレーサビリティに広く応用されている。さらに海洋・陸域研究の広いバックグラウンドで一〇年間にわたり水系・流域管理を志向した三つの大型プロジェクトリーダーとなり、流域生態系の多様な構造の解明と環境変動への応答を炭素・窒素循環面から解明した。また水系評価のための同位体指標・同位体環境容量の提示を行い、これらの結果を統合した文理連携のあり方に対する新しい切り口を提示した。

1. 生物圏における窒素同位体比の自然存在比に関する先駆的研究
 海洋と陸域などの生物や無機態窒素、また降水中の無機態窒素の $\delta^{15}\text{N}$ 自然存在比の測定に成功し、
 ・陸域に比べ、海洋は $\delta^{15}\text{N}$ 比が高く、これが脱窒素($\text{NO}_3^- \rightarrow \text{N}_2$)によること、南極ドライバレーの塩湖の藻類が世界でもっとも低い $\delta^{15}\text{N}$ を示すことを見出した。
 ・ $\delta^{15}\text{N}$ の代謝が $\delta^{15}\text{N}$ に比べ遅いため食物連鎖に沿って $\delta^{15}\text{N}$ が増加することを発見した。

・海洋の脱窒の生起サイトの窒素収支バランスモデルを提示し窒素循環の主な経路を同位体の面から解明した。

これらの成果は、測定が難しく測定の意義が不明であった生物界の窒素同位体の分布と変動に関する研究が世界的に始まる出発点となった。

2. 生物界の重要なプロセスにおける同位体効果の測定と同位体生態学の構築

硝化細菌 ($\text{NH}_4 \rightarrow \text{NO}_3$)・脱窒菌・窒素固定菌、珪藻の培養実験などによる窒素代謝系の窒素同位体効果や光合成系炭酸固定系における炭素同位体分別係数、土壌培養実験によるメタン生成機構と生成経路の識別法の確立などの測定・解析を行い窒素・炭素循環の基本(枠組み)を同位体比の変動の面から明らかにした。さらに各種生物飼育実験と野外調査から「生物界の食う―食われる」の一般則として

$\delta^{15}\text{N}$ (動物) = 3.3 (Trophic Level - 1) + $\delta^{15}\text{N}$ (植物)

が成立することを発見し南極海といくつかの湖で確認した。これらの成果から窒素や炭素などの生体の主な元素である生元素循環と生態系の同位体構造を統合することが可能となった。野外調査では海洋、湖、河川、熱帯湿地林、水田土壌、大豆畑、極地など色々な系

で上記の式が成立することを確認した。さらに測定法の迅速・簡便化に伴って、広く同位体生態学が我が国や世界で認知されるようになり、DNA法と並ぶ生態学における新しい手法となった。

3. 地球環境問題の解決、特に水系の環境変動に対する応答の大型プロジェクト研究と文理連携プロジェクト研究の推進

一九九〇年代からは、森林・湖・湾を含む水系における物質循環の研究を主として行い、

i) 地球圏生物圏国際事業計画のための特定領域研究「陸域生態系の地球環境変化に対する応答の研究」

ii) 生物多様性科学国際研究計画のための創成的基礎研究「地球環境攪乱下における生物多様性の保全及び生命情報の維持管理に関する総合的基礎研究」

iii) 未来開拓プロジェクト「地球環境情報収集方法の確立」

iv) 総合地球環境学研究所プロジェクト「琵琶湖・淀川水系診断法の確立」などを精力的に進めてきた。

(.ii)はコアメンバー、それ以外はプロジェクトリーダー)

その結果、流域内における森林から田畑・都市域を通して海に至る間の生態系物質循環様式の変化(例えば pCO_2 の大気中での増加により一年につける葉の枚数が増えたり、樹木が高くなり葉が木の

上部に多くなるなど) に対する生態系の応答を解明し、安定同位体指標や水質と人口密度に関する環境容量を新たに提案した。さらに琵琶湖淀川水系やモンゴルバイカル湖水系を中心に、ここ一〇年以上にわたる物質循環の変化と人間社会のありかたの関連の研究を踏まえて、観測・モデル・予測そして順応的管理 (Adaptive Management) の流れで自然と人間活動の関連を考えて行く事を提案した。

4. 現在の役割と研究

地球環境フロンティア研究センターに移ってから、上記の研究を継続推進すると共に、和田氏の海洋・陸域に渡る広い野外の知見を背景として、温暖化など地球規模での環境変動と流域生態系における水循環・物質循環との関係や、衛星画像や大型コンピューターを駆使したシミュレーション実験によって、陸域と海域生態系の炭素・窒素循環モデルの構築を行う研究グループのプログラムディレクターとして活躍している。この研究は我が国における唯一の基礎研究グループであり、その成果は IPCC 第五次報告書 (二〇一二年ごろ) への貢献を目標としている。

以上和田氏は、安定同位体を指標として、食物連鎖を中心とする

生態系の解明に画期的な業績を挙げただけではなく、物質循環から見た生態系機能とその多様性の関係と保全を目標とする新しい方向の研究開発も行っていると評価できる。その成果は自然科学的内容のみならず人間社会との相互作用を組み入れたものとして高く評価される。これら一連の研究は、次世代の「自然保護及び種の保全の基礎となる優れた学術的研究」の端緒を拓く業績として、日本学士院エジンバラ公賞に相応しい。

業績を示す代表的な論文及び著書

学術論文等

- 1) Miyake, Y. and Wada, E. (1967) The abundance ratio of $^{15}\text{N}/^{14}\text{N}$ in marine environments. *Records of Oceanographic Works in Japan* 9(1): 37-53. 学位主論文: 食物連鎖に沿って ^{15}N が濃縮されることを発見した。当時のポリマーで指導教授が主著者になっているが、和田の仕事として世界に広がった。生物界での窒素同位体自然存在比に関するパイオニア的論文。
- 2) Wada, E., Shibata, R., and Torii, T. (1981) ^{15}N abundance in Antarctica: origin of soil nitrogen and ecological implications. *Nature* 292: 327-329. 生物界で最も $^{15}\text{N}/^{14}\text{N}$ 比の小さい藻類を見出し解析した。
- 3) Wada, E., Terazaki, M., Kabaya, Y., and Nemoto, T. (1986) ^{15}N and ^{13}C abundances in the Antarctic Ocean with emphasis on the biogeochemical structure of the food web. *Deep-Sea Research* 34: 829-841. 窒素同位体比が栄養段階と直線関係にあることを世界で始めて示した。
- 4) Ogawa, O.N., Koiabashi, T., Oda, H., Nakamura, T., Ohkouchi, N., and Wada, E. (2001) Fluctuations of nitrogen isotope ratio of gobiid fish (Isaza) specimens and sediments in Lake Biwa, Japan, during the 20th century. *Limnology and*

Oceanography 46(5): 1228-1236. 標本及び堆積物の解析によって「近過去生態学のはじめ」を志向した論文。

著書

- 1) Wada, E. and Hatori, A. (1991) Nitrogen in the sea: forms, abundances & rate processes. CRC Press, Florida, U.S.A. 208pp.
 - 2) Wada, E., Ando, T., and Kumazawa, K. (1995) Biodiversity of stable isotope ratios. In: *Stable Isotopes in the Biosphere* (eds. Wada, E., Yoneyama, T., Mingawa, M., Ando, T., and Fry, B.D.). Kyoto University Press, pp.7-14.
 - 3) 和田英太郎 (1998) 生物多様性研究の将来。In: 岩波講座「地球環境学」第五卷「生物多様性とその保全」。井上民二、和田英太郎 (編) 岩波書店。pp. 231-248.
 - 4) 和田英太郎 (2002) 環境学入門。『地球生態学』岩波書店。p.208.
 - 5) 和田英太郎 (監修) (2002) 流域管理のための総合調査マニュアル 京都大学生態学研究センター p.384. 未来開拓プロジェクト報告
 - 6) 谷内茂雄、和田英太郎 (監修) (2007) 琵琶湖—淀川水系における集域管理モデルの構築総合地球環境学研究所 p.624. プロジェクトのまとめ
- ### 主な和文・総説などの業績
- 1) 和田英太郎 (1973) 海洋における無機窒素の代謝の研究。日本海洋学会誌 29: 163-169.
 - 2) 和田英太郎、水谷広、柄沢亨子、蒲谷裕子、南川雅男、米本昌平、辻堯 (1984) 大槌水系における有機物の挙動。炭素・窒素同位体比からの評価。地球化学 18 (2): 89-98.
 - 3) 和田英太郎、半場祐子 (1994) 生元素安定同位体比自然存在比—その研究の現状と展望。生化学 96 (1): 15-28.
 - 4) 和田英太郎 (1997) 安定同位体比精密測定法による陸上生態系の解析。日本生態学会誌 47: 333-336.
 - 5) 和田英太郎、陀安一郎、兵藤不二夫 (2003) 物質循環と水資源—水系を中心として。エネルギー・資源 24 (1): 27-33.

- 6) 和田英太郎 (2003) モンゴルの遊牧とその持続性の実体—物質循環からみたモンゴル高原。科学 73 (5): 545-548.
- 7) 和田英太郎 (2004) 自然界の物質循環を探る—安定同位体が語る生物と地球環境。現代化学、三月号: 14-19.

主要和文著書

- 1) 和田英太郎 (1985) 微生物による窒素・炭素同位体分別。微生物の生態 13。学会出版センター。pp. 57-77.
 - 2) 和田英太郎 (1988) 生物地球化学。In: 地球化学。半谷高久 (編) 丸善株式会社。pp. 121-159.
 - 3) 和田英太郎 (1988) 化学構造から見た食物連鎖。In: 河口—沿岸域の生態学—エコテクノロジー。栗原康 (編) 東海大出版会。pp. 77-84.
 - 4) 和田英太郎 (1994) 安定同位体比を利用した物質循環の解明。In: バイカル湖古代湖のフィールドサイエンス。森野浩、宮崎信之 (編) 東京大学出版会。pp. 227-245.
 - 5) 和田英太郎 (1999) 環境調和型の水・物質循環と時間。In: 岩波講座「地球環境学」第四巻「水・物質循環系の変化」。和田英太郎、安成哲三 (編) 岩波書店。pp. 327-343.
 - 6) 和田英太郎 (2005) 琵琶湖・淀川水系の診断法、流域圏プランニングの時代—自然共生型・都市の再生—。石川幹子、岸由二、吉川勝秀 (編) 技報堂出版。pp. 149-171.
 - 7) 和田英太郎 (2006) 生態系の物質動態プロセスとその時空間スケール pp.254-267. 陸水生態系の科学、地球環境と生態系。武田、占部 (編) 共立出版。p.282.
- ### 主要な論文及び著書 (英文)
- #### 学術論文 (査読付き)
- 1) Wada, E., Kodonaga, T., and Matsuo, S. (1975) ^{15}N abundance in nitrogen of naturally occurring substances and global assessment of denitrification from isotopic viewpoint. *Geochemical Journal* 9: 139-148.

(eds Gopal, B., Patlak, P. S., and Saxena, K. G.). International Scientific Publications, New Delhi. pp. 407-430.

- 2) Wada, E. and Hattori, A. (1978) Nitrogen isotope effects in the assimilation of inorganic nitrogenous compounds by marine diatoms. *Geomicrobiology Journal* 1(1): 85-101.
 - 3) Mingawara, M. and Wada, E. (1984) Stepwise enrichment of ^{15}N along food chains: further evidence and the relation between $\delta^{15}\text{N}$ and animal age. *Geochimica et Cosmochimica Acta* 48(5): 1135-1140.
 - 4) Yoshida, N., Morimoto, N., Hirano, M., Koike, I., Matsuo, S., Wada, E., Saino, T., and Hattori, A. (1989) Nitrification rates and ^{15}N abundances of NO_3^- in the western North Pacific. *Nature* 342(6252): 895-897.
 - 5) Wada, E. and Yoshioka, T. (1996) Isotope biogeochemistry of several aquatic ecosystems. *Geochemistry International* 33(5): 129-149.
 - 6) Nakano, T., Tayasu, I., Yamada, Y., Hosono, T., Igeta, A., Hyoudo, F., Ando, A., Saitoh, Y., Tanaka, T., Wada, E., and Yachi, S. (2007) Effect of Agriculture on water quality of Lake Biwa Tributaries, Japan. *Sci. Total Environ.* 389,132-148.
- 揮動 (如左図添補)
- 1) Wada, E. (1980) Nitrogen isotope fractionation and its significance in biogeochemical processes occurring in marine environments. In: *Isotope Marine Chemistry* (eds Goldberg, E.D., Horibe, Y., and Saruthashi, K.). Uchida-Rokakuho, Tokyo, pp.375-398.
 - 2) Wada, E. and Ueda, S. (1996) Carbon, nitrogen, and oxygen isotope ratios of CH_4 and N_2O in soil ecosystems. In: *Mass Spectrometry of Soils* (eds Boulton, T. W. and Yamasaki, S.), Marcel Dekker, Inc. pp. 177-204.
 - 3) Wada, E. (1997) Stable isotope ratios in ecosystems —possible parameters assessing ecological function and structure. In: *Conserving Biodiversity for Sustainable Development* (ed.) Indian National Science Academy. pp. 53-60.
 - 4) Wada, E., Tayasu, I., Koba, K., Matsubara, T., Ogawa, N. O., Yamada, Y., Yoshi, K., and Sugimoto, A. (1998) The use of stable isotopes for ecological studies. In: *Ecology Today: an anthology of contemporary ecological research*