

博 士 論 文 審 査 の 結 果 の 要 旨

氏名	浦井 暖史
学位名	博士（理学）
学位番号	甲 第 134 号
論文題目	Carbon cycle and interactions of surface hydrosphere and deep-subsurface: key molecule and isotopic ratio approaches (バイオマーカーおよび同位体比分析を用いた表層水圏および深部 地下圏における炭素循環と相互作用の解明)
論文審査委員	主査 朴 虎東 國頭 恭 宮原 裕一 高野 淑識 (海洋研究開発機構)

(博士論文審査の結果の要旨)

本学位論文は、湖沼生態系における食物連鎖や水圏中の炭素の動態を深部地下圏におけるメタン生茂菌を含む原核生物のバイオマスなどを明らかにし、メタンを介した深部地下圏の炭素の影響を受けていることを解明した。長野県大町市にある中栄養湖の木崎湖では湖水から動・植物プランクトン、POC、高分子 DOMなどを分離し、各成分に含まれるステロールの組成分析を行い、年間を通じて動植物プランクトン由来とされるステロール (cholesterol) が優占し、春から夏にかけて陸上植物由来とされるステロール (stigmasterol) が優占することを明らかにした。貧栄養湖の白駒池では、アミノ酸の分子レベル窒素同位体比 (15N/14N) 分析法を用いて、2種類の動物プランクトン (ダフニアとコペポダ) の生態系ピラミッドにおける栄養段階の解析を行った。その結果、ダフニアは季節に関係なく藻類食であるが、コペポダは春と秋に藻類食で、夏と冬は雑食を示した。この研究結果は長年謎が多かった腐食栄養湖沼の動物プランクトン異なる採餌戦略を解明した初めての研究である。一方、深部地下水圏では、原核生物がメインとなる生態系が広がる。その中でも、メタンを生成する微生物 (メタン生成アーキア) に関する知見は、資源的価値や環境問題の側面からも特に重要である。しかしながら、メタン生成アーキアの多くが難培養性であるため、深部地下水圏での生態や機能の多くが不明である。本研究では、日本最大の水溶性ガス田である南関東ガス田を対象に、メタン生成アーキアに特有の化合物である補酵素 F430 などのバイオマーカーを用いた、深部地下水圏の原核生物のバイオマス比やメタン生成ポテンシャルを評価した。これらの結果から、深部地下水圏の原核生物のうち、約 90%がバクテリアであることが示された。また、メタン生成アーキアの存在量は、水田土壌に匹敵する上、現在でも高い活性を維持することが示された。また、ガス試料中のメタンや地下水中の溶存無機炭素 (DIC) に対して、放射性炭素 (^{14}C) を分析した結果、メタンや DIC は、大気 CO_2 の値とは全く異なることから、深部地下水圏は天水や海水の供給のない、閉鎖系であることが示唆された。深部地下水圏で生産されたメタンは、人工的または自然発生的に表層圏に移動し、大気へと放出される。富栄養湖の諏訪湖 (長野県諏訪市) でも、深部地下水圏からメタンが放出されている。一方で、その肥沃な湖底からも、メタンの放出が確認されている。これらのメタンの一部は、湖水中に溶存することで、湖内生態系の炭素循環にも影響を与えている可能性があるが、その挙動は不明である。これらのメタン、湖水 DIC、藻類の ^{14}C を測定して結果、湖水 DIC の 10%程度は、深部メタンに由来する炭素であり、藻類にも伝搬していることが示された。また、諏訪湖で発生するアオコから、高濃度の F430 を検出したことから、アオコからもメタンが生成・放出されている可能性を示した。これらの結果から、表層水圏における食物連鎖や水圏中の炭素の動態を、深部地下圏におけるメタン生成菌を含む原核生物のバイオマスなどを明らかにした。そして、表

層水圏やその生態系は、メタンを介した深部地下圏の炭素の影響を受けていることを示した。以上の研究から、表層圏および深部地下圏における炭素循環に対する微生物の機能を評価し、表層圏と深部地下圏との相互作用についての微生物に特有な化合物（バイオマーカー）とその同位体比を用いた手法を用いて解明を行なった。

以上のように、浦井君は大学院修了者としての学力を有し、予備審査の際に全審査委員に指摘されたコメントと修正箇所は大筋改善されたことを確認した。本学位論文はバイオマーカーおよび同位体比分析を用いた表層水圏および深部地下圏における炭素循環とその相互作用を解明した論文であり、学位論文として十分に価値あるものと全審査委員が判断した。

(公表主要論文名)

- **Atsushi Urai**, Ho-Dong Park. Difference in the foraging strategy between daphnia and copepods in Shirakoma-ike: evidence from $^{15}\text{N} / ^{14}\text{N}$ of amino acids. *Researches in Organic Geochemistry* 35, 37-43, December 30, 2019.
- **Atsushi Urai**, Yoshinori Takano, Hiroyuki Imachi, Shun'ichi Ishii, Yohei Matsui, Miyuki Ogawara, Eiji Tasumi, Yosuke Miyairi, Nanako O Ogawa, Toshihiro Yoshimura, Fumio Inagaki, Yusuke Yokoyama, Kenjiro Kawano, daisuke Murai, Ho-Dong Park, Naohiko Ohkouchi. Origin of deep methane associated with a unique community of microorganisms in an organic- and iodine-rich aquifer. *ACS Earth and Space Chemistry*, 2021, 5, 1, 1-11. November 24th, 2020 accepted.