

湿地帯における環境汚染物質の動態
ならびに汚染物質の低減化への試み

研究課題番号：18510056

平成 18 年度～平成 19 年度科学研究費補助金

[基盤研究(C)]

研究成果報告書

平成 20 年 3 月

研究代表者 狩野 直樹

[新潟大学・自然科学系(工学部)・准教授]

目次

1. まえがき	・・・	1
2. 研究発表	・・・	4
(1) 雑誌論文	・・・	4
(A) 学術論文	...	4
(B) 研究年報・紀要類	...	5
(2) 学会発表	・・・	6
(A) 国際会議	...	6
(B) 学術発表	...	6
3. 研究成果	・・・	9
はじめに	・・・	9
学術論文	・・・	13
(1) "Environmental characteristics of precipitations based on both oxygen stable isotopic ratio and concentration of rare earth elements (REEs), thorium (Th), uranium (U) in Niigata Prefecture"	...	13
(2) 「大気・降水中に含まれる多環芳香族炭化水素類(PAHs)の測定とその挙動」	...	24
(3) "Study on the Behavior of Pollutants in lagoon waters in Niigata Prefecture, Japan"	...	36

(4) “Environmental characteristics of lagoon waters in Niigata Prefecture based on oxygen stable isotopic ratio and the concentrations of dissolved materials”	...42
(5) “Determination of Rare Earth Elements, Thorium and Uranium in Seaweed Samples on the Coast in Niigata Prefecture by Inductively Coupled Plasma Mass Spectrometry”	...75
(6) 「T-for-H 交換反応における種々の脂肪族ジアミンの反応性」	... 93
(7) 「異なる3種の官能基を持つL-システイン酸とL-システインの反応性の同時解析」	... 101
(8) 「T-for-H 交換反応における脂環式アルコール及びカルボン酸の速度論的解析」	... 111
(9) 「T-for-H 交換反応における安息香酸誘導体の速度論的反応解析」	... 122
(10) “Study on Reduction of Chromium Using Humic Substances and Clay Minerals”	...130
研究年報・紀要類	...136
「酸素安定同位体比および希土類元素濃度から見た新潟県の降水の特徴」	... 137
「新潟県の湖沼における環境汚染物質の動態および水質評価」	... 149
「佐潟における環境汚染物質の動態ならびに汚染物質の低減化のための基礎研究」	... 159

4. おわりに . . . 185

1. まえがき

平成18年度～平成19年度科学研究費補助金(基盤研究(C))として「湿地帯における環境汚染物質の動態ならびに汚染物質の低減化への試み」が採択され、その研究成果を本報告書にまとめることができた。

近年、地球規模での大気汚染、水質汚染が懸念されており、日本においても酸性雨による生態系や建造物等への被害が報告されている。湖沼においてもアオコや赤潮などのプランクトン起源の有機物汚染や富栄養化が懸念され、汚染物質の動態解析の重要性が増している。水資源の利用や環境保全の観点から、汚染物質の起源、供給経路の解明や環境中における存在状況や分布状態の把握、ならびに汚染物質の低減化や回収除去法の探索は緊急かつ重要な命題である。

このような背景から、本研究では上記の命題の解決のため、大別して

(I) 湿地における環境実試料の定期的なサンプリング、同位体・化学分析

(II) 各種汚染物質の挙動(取り込みや吸着、回収)に関する室内モデル実験

の手法に基づいて研究を行い、研究目的の達成を目指した。

湿地(Wetland)とは、川の始まりから海の浅いところまで、山地水域から湿原、湖沼、河川、人工水系を含み、干潟、マングローブ林、サンゴ礁、藻場などの沿岸域まで、水のあるところ、水と命の出会うところの総称といわれている。大気-陸域-海洋を結ぶリンクとして、河川・湖沼は、地表の水物質に伴った物質循環に関わる場であるとともに、淡水資源としても重要である。汚染物質としては、ウラン(U)・トリウム(Th)等の放射性物質や遷移金属(Cr, As)等の重金属類を中心に、多環芳香族炭化水素類(PAHs)・難分解性有機汚染物質(POPs)等の有害有機物質や栄養塩類を対象とした。

本研究では、湿地として新潟県内の佐潟、鳥屋野潟を中心に、一部、海外共同研究者(研究協力者) Zheng Yong-jie(鄭永杰)教授の所属大学(中国黒龍江省・チチハル大学)付近の Zhalong 湿地(扎龍自然保護区)も対象とした。

ラムサール条約登録湿地である佐潟は、砂丘列間の低地に形成された砂丘湖で、流入する河川がなく、降水や地下水のみからの湧き水によって涵養されているという特徴を持った全国的にも珍しい湖沼である。水質は淡水で、窒素やリンなどの栄養塩類の多い富栄養湖に分類されており、水生植物やプランクトンも多く存在している。一方、鳥屋野潟は県内最大の湖沼で、信濃川水系からの流入を受けるため、一級河川に分類されており、周辺河川からの影響把握の指標となる。そこで、両潟から得られたデータを相互比較し、それらの水文学的特徴ならびに水質実態を明らかにすることは、湖沼における環境汚染物質の動態、物質収支の見地から興味深い。Zhalong 湿地もラムサール条約登録湿地であり、鶴をはじめ多くの渡り鳥の飛来地である扎龍自然保護区に指定されてい

る。Wuyuler 川の下流域に位置し、絶え間なく、貯水池全体から窒素やリンの十分な栄養供給がされているため、富栄養化が懸念されている。Zhalong 湿地については、これまで分析化学的手法による系統的な汚染物質の動態研究があまり行われていないため、当地域における環境情報を社会的に共有する価値があると考え、本研究の研究対象に加えた。さらに、有害汚染物質の大陸からの長距離輸送(越境汚染)の課程を検討するうえでも有用なデータになりうると考えられる。

湿地における環境汚染物質の動態を把握するためには、降水・大気・降下物中における濃度把握もまた重要と考え、本研究では、測定対象として湖沼をはじめ河川、降水、土壌、海洋と幅広く設定して分析を行った。

次に、汚染物質の挙動研究に関する基礎実験として、本研究では、重金属、とりわけ化学形態によって生物や環境に与える毒性等が大きく異なるクロム(Cr)やヒ素(As)については研究代表者(狩野)を中心に低減化の手法に関して、また環境トリチウム(T)の挙動研究、影響評価については、研究分担者(今泉)を中心に、水素同位体交換反応を利用して検討を行った。

本研究では、汚染物質の低減化や回収除去に寄与する環境浄化物質として、低コストであり、環境に負荷をかけないという観点から天然物質に焦点をあてて探索および開発を行った点に特色がある。天然物質の利用形態として、大別して、(1) フミン物質、粘土鉱物、海藻・植物バイオマス等を吸着剤としての利用、ならびに(2)植物に代表されるファイトレメディエーションとしての利用がある。上記の天然物質の浄化物質としての有効性ならびに利用の際の最適条件を基礎実験によって検討した。

以上のように、本研究では、環境汚染物質(放射性核種、重金属、有害有機物質など)の湿地における起源・循環経路の解明および動態把握を、同位体分析・化学分析ならびにポット実験(基礎的なモデル実験)を駆使して多角的に行い、環境有害物質の回収除去や低減化への探求を目指した。さらに、日本および中国両国の湿地の分析結果に、降雨・降雪の分析結果や後方流跡線解析の結果も組み合わせ、大陸からの長距離輸送(越境汚染)の課程の探索も目指した。

研究組織

研究代表者：狩野直樹 [新潟大学・自然科学系(工学部)・准教授]

研究分担者：今泉 洋 [新潟大学・自然科学系(工学部)・教授]

研究協力者：鄭 永杰 [チチハル大学・化学系・教授]

研究協力者：村山 等 [新潟県保健環境科学研究所・大気科学科・専門研究員]

研究協力者：家合浩明 [新潟県保健環境科学研究所・大気科学科・専門研究員]

(現在：酸性雨研究センター・大気圏研究部・部長)

交付決定額 (配分額)

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
平成 18 年度	1,800,000	0	1,800,000
平成 19 年度	1,700,000	510,000	2,210,000
総 計	3,500,000	510,000	4,010,000

2. 研究発表

以下は、平成 18～19 年度の当該の研究発表関連をまとめたものです。

(1) 雑誌論文

(A) 学術論文

1. 今泉 洋, 斎藤博美, 狩野直樹 :
「T-for-H 交換反応における種々の脂肪族ジアミンの反応性」
Radioisotopes, **55**(4), 183-190 (2006)
2. Naoki KANO, Takehiro KIKUCHI, Nobuo SAKAMOTO, Hiroshi IMAIZUMI, Hitoshi MURAYAMA, Hiroaki YAGOH and Tsuyoshi OHIZUMI:
”Environmental characteristics of precipitations based on both oxygen stable isotopic ratio and concentration of rare earth elements (REEs), thorium (Th), uranium (U) in Niigata Prefecture”
Radioisotopes, **55**(6), 307-317 (2006).
3. Naoki KANO, Yong-jie ZHENG, He LU, Masaru TAZAWA, Yoshie YASHIMA, Takeshi KOYAMA, Hiroshi IMAIZUMI:
“Study on the Behavior of Pollutants in lagoon waters in Niigata Prefecture, Japan”
Geophysical Solutions for Environment and Engineering (Proc. of the 2nd International Conference on Environmental and Engineering Geophysics), Vol.2, pp. 802-806 (2006), Science Press USA Inc. (ISBN 1-933100-18-4)
4. 今泉 洋, 長澤智史, 狩野直樹 :
「異なる 3 種の官能基を持つ L-システイン酸と L-システインの反応性の同時解析」
Radioisotopes, **55**(12), 709-718 (2006)
5. KANO Naoki, OTSUKI Yusuke, LU He and IMAIZUMI Hiroshi:
“Study on Reduction of Chromium Using Humic Substances and Clay Minerals”
Journal of Ecotechnology Research, **13**(2), 79-84(2007).
6. 大浦孝祐, 村山 等, 家合浩明, 狩野直樹, 今泉 洋 :
「大気・降水中に含まれる多環芳香族炭化水素類 (PAHs) の測定とその挙動」
環境化学 (*Journal of Environmental Chemistry*), **17**(2), 205-216 (2007)

7. 田村 潔, 今泉 洋, 狩野直樹 :
「T-for-H 交換反応における脂環式アルコール及びカルボン酸の速度論的解析」
Radioisotopes, **56(10)**, 593–603 (2007)
8. 澤田佳則, 今泉 洋, 狩野直樹 :
「T-for-H 交換反応における安息香酸誘導体の速度論的反応解析」
Radioisotopes, **57(4)**, 233–240 (2008)
9. He LU, Naoki KANO, Yoshie YASHIMA, Yoshiyuki AMANO, Chong LI, Hiroshi IMAIZUMI, Naoki WATANABE, Yongjie ZHENG :
“Environmental characteristics of lagoon waters in Niigata Prefecture based on oxygen stable isotopic ratio and the concentrations of dissolved materials”
Radioisotopes, 掲載決定(2008年7月掲載予定)
10. Nobuo Sakamoto, Naoki Kano, Hiroshi Imaizumi :
”Determination of Rare Earth Elements, Thorium and Uranium in Seaweed Samples on the Coast in Niigata Prefecture by Inductively Coupled Plasma Mass Spectrometry”
Applied Geochemistry, in press (scheduled to be published in August/September 2008)

(B) 研究年報・紀要類

1. 狩野直樹
「酸素安定同位体比および希土類元素濃度から見た新潟県の降水の特徴」
財団法人 環境地質科学研究所 研究年報 第17号 51-62 (2006)
2. 狩野直樹
「新潟県の湖沼における環境汚染物質の動態および水質評価」
財団法人 環境地質科学研究所 研究年報 第18号 29-38 (2007)
3. 狩野直樹
「佐潟における環境汚染物質の動態ならびに汚染物質の低減化のための基礎研究」 平成18年度新潟市「佐潟学術研究奨励補助金」研究成果報告書 pp.1-24 平成19年12月印刷・発行 編集・発行 新潟市環境部環境対策課

(2) 学会発表

(A) 国際会議

1. Naoki KANO, Yong-jie ZHENG, He LU, Masaru TAZAWA, Yoshie YASHIMA, Takeshi KOYAMA, Hiroshi IMAIZUMI:
“Study on the Behavior of Pollutants in lagoon waters in Niigata Prefecture, Japan”
2nd International Conference on Environmental and Engineering Geophysics (ICEEG2006), 4-9 June 2006, Wuhan, China
2. KANO Naoki, OTSUKI Yusuke, LU He and IMAIZUMI Hiroshi:
“Study on the Reduction of Chromium Using Humic Substance and Clay Minerals”
13th Asian Symposium on Ecotechnology (ASET13), C2-03, December 2-3, 2006, Toyama, Japan
3. KANO Naoki, OTSUKI Yusuke, LU He and IMAIZUMI Hiroshi:
“Study on the Reduction of Chromium Using Humic Substance and Clay Minerals”
14th Asian Symposium on Ecotechnology (ASET14), P-04, October 5-6, 2007, Kyung-Hee University, Korea
4. SAKAMOTO Nobuo, KANO Naoki, LU He and IMAIZUMI Hiroshi:
“Behhavior and Uptake of Rare Earth Elements and Uranium in Seaweed”
14th Asian Symposium on Ecotechnology (ASET14), P-35, October 5-6, 2007, Kyung-Hee University, Korea
5. Nobuo SAKAMOTO, Naoki KANO, Hiroshi IMAIZUMI:
“Biosorption of Uranium and Rare Earth Elements Using Biomass of Algae”
The 10th Eurasia Conference on Chemical Sciences (EuAs C₂S-10), OA-2-6, 7-11 January 2008, Philippine International Convention Center, Manila, Philippines

(B) 学術発表

1. 大浦孝祐, 狩野直樹, 村山 等:
「大気・降水中に含まれる多環芳香族炭化水素類の挙動と発生源の推定」
第15回環境化学討論会, 1C-6, Jun. 20-22, 2006 仙台
2. 八嶋由枝, 田澤 勝, 狩野直樹, 今泉 洋:
「酸素安定同位体比およびアルカリ度を用いた河川・湖沼水の動態 ～降水に

- よる周辺土壌からの影響～」
- 第 43 回アイソトープ・放射線研究発表会, 2p-I-09, Jul. 5-7, 2006 東京
3. 坂本信生, 狩野直樹, 今泉 洋, 加藤健二 :
「海藻中の希土類元素, トリウム, ウラン濃度から見た元素摂取および生態濃縮機構の検討」
第 43 回アイソトープ・放射線研究発表会, 2p-I-10, Jul. 5-7, 2006 東京
 4. 田村 潔, 今泉 洋, 狩野直樹 :
「T-for-H 交換反応における脂肪族環状カルボン酸の速度論的反応解析」
第 43 回アイソトープ・放射線研究発表会, 2a-II-08, Jul. 5-7, 2006 東京
 5. 添野忠宏, 今泉 洋, 佐竹徹哉, 狩野直樹 :
「T-for-H 交換反応における *m*-ヒドロキシ安息香酸の反応性」
第 43 回アイソトープ・放射線研究発表会, 2a-II-09, Jul. 5-7, 2006 東京
 6. 大槻佑輔, 狩野直樹, 今泉 洋 :
「フミン物質および粘土鉱物を用いた土壌中のクロム低減化の検討」
第 20 回分析化学新潟地区部会研究発表会, Sep. 8, 2006 新潟
 7. 大槻佑輔, 狩野直樹, 今泉 洋 :
「天然物質 (フミン物質, 粘土鉱物, 植物) を用いた自然環境中におけるクロム低減化の検討」
第 68 回分析化学討論会, P1040, May. 19-20, 2007 宇都宮
 8. 小山 威, 狩野直樹, 天野義之, 廬 鶴, 今泉 洋 :
「新潟県における湖沼中の環境汚染物質の動態」
第 68 回分析化学討論会, P1041, May. 19-20, 2007 宇都宮
 9. 土田利幸, 狩野直樹, 廬 鶴, 小倉大知, 今泉 洋 :
「土壌環境中における希土類元素, トリウム, ウランの動態」
第 44 回アイソトープ・放射線研究発表会, 3a-I-02, Jul. 4-6, 2007 東京
 10. 天野義之, 狩野直樹, 田澤 勝, 小山 威, 今泉 洋 :
「新潟県における湖沼・河川水の環境汚染物質の動態評価」
第 44 回アイソトープ・放射線研究発表会, 3a-I-05, Jul. 4-6, 2007 東京

11. 花房 充, 狩野直樹, 今泉 洋 :
「新潟県における降水の酸素安定同位体比および化学分析」
第 44 回アイソトープ・放射線研究発表会, 3a-I-09, Jul. 4-6, 2007 東京
12. 澤田佳則, 今泉 洋, 狩野直樹 :
「T-for-H 交換反応における安息香酸誘導体の反応性」
第 44 回アイソトープ・放射線研究発表会, 3a-III-06, Jul. 4-6, 2007 東京
13. 吉田 陽, 橋詰陽介, 今泉 洋, 狩野直樹 :
「T-for-H 交換反応を用いた異なる 3 種類の官能基を持つ物質の速度論的反応解析」
第 44 回アイソトープ・放射線研究発表会, 3a-III-07, Jul. 4-6, 2007 東京
14. 澤田佳則, 今泉 洋, 狩野直樹 :
「T-for-H 交換反応における安息香酸誘導体の速度論的反応解析」
日本原子力学会関東・甲越支部第 6 回若手研究者発表討論会, Oct. 31, 2007 東京
15. 高橋優太, 今泉洋, 狩野直樹, 斎藤正明, 加藤徳雄, 石井吉之, 斎藤圭一 :
「降水中トリチウムでみる日本近辺の気団動態」
日本原子力学会関東・甲越支部第 6 回若手研究者発表討論会, Oct. 31, 2007 東京
16. 山崎佑樹, 今泉 洋, 狩野直樹 :
「T-for-H 交換反応におけるベンズアルデヒド誘導体の速度論的反応解析」
日本原子力学会関東・甲越支部第 1 回学生研究発表会, Mar. 14, 2008 東京

3. 研究成果

はじめに

1. まえがきで述べたような背景から、本研究課題では、平成 18～19 年度の 2 年間、湿地における汚染物質の起源、供給経路の解明や環境中における存在状況や分布状態の把握、汚染物質の低減化や回収除去法の探索という目的のため、
(I) 湿地における環境実試料の定期的なサンプリング、同位体・化学分析
(II) 各種汚染物質の挙動(取り込みや吸着、回収)に関する室内モデル実験
の研究を行った。

(I)については、環境試料として、(a)降水・大気・降下物関連、(b)湖沼・河川関連、(c)海洋関連、(d)土壌関連に分類される。(II)については、対象汚染物質として、(a)放射性物質、(b)重金属類、(c)有機物質、(d)栄養塩類に分類される。

これらに基づき、2. 研究発表 (1)雑誌論文(A) 学術論文で記載した論文(印刷中のものを含めて計 10 篇)に関して項目別に分類すると下記リストのようになる。それぞれの論文は p.13 以降に掲載するが、各項目の概要を以下に示す。

(A) 降水・大気・降下物に関する論文

(1) "Environmental characteristics of precipitations based on both oxygen stable isotopic ratio and concentration of rare earth elements (REEs), thorium (Th), uranium (U) in Niigata Prefecture" *Radioisotopes*, 55(6), 307-317 (2006)

(2) 「大気・降水中に含まれる多環芳香族炭化水素類 (PAHs) の測定とその挙動」
環境化学 (Journal of Environmental Chemistry), 17(2), 205-216 (2007)

降水試料については、年間を通して、新潟県内 3 地点[都市部：新潟市，山間部：三条市(笠堀)，佐渡市]において酸素安定同位体比($\delta^{18}\text{O}$)および微量元素(希土類元素:REEs, Th, U)濃度を、2 地点(新潟市，三条市)においては降水の他、大気中の PAHs を測定した。その結果、主として下記のことが明らかになった。

県内 3 地点における降水の $\delta^{18}\text{O}$ は概ね似た季節変動を示したが、平均値は、新潟市で $-7.36 \pm 1.94\text{‰}$ ，下田村で $-8.36 \pm 1.70\text{‰}$ ，佐渡市で $-8.63 \pm 2.26\text{‰}$ であった。新潟市に比べ内陸部に位置し、高度も高い三条市では新潟市よりも全体的に $\delta^{18}\text{O}$ が低くなっており“高度効果”の他，“内陸効果”の影響が大きいと考えられる。梅雨期、特に 6 月の降水において $\delta^{18}\text{O}$ 値が低くなった。“温度効果”の影響は冬季において最も顕著に見られた。一方，“雨量効果”は場所によらず、概ね年間を通して見られた。REEs, Th, U 濃度は季節に大きく依存しており、冬季から春季にかけて高くなる傾向が見られた。また冬季から春季の試料は中国の黄土に近い組成を持つ試料が多く見られたこと

から、REEs は黄砂とともに運ばれてきた可能性が示唆される。さらに降水中の希土類元素には、人為起源も無視できないものの、海洋起源の他、地殻起源によるところが大きいと推測される。

大気中の PAHs 年平均濃度は都市部(“新潟”)で $21\text{ng}/\text{m}^3$ 、山間部(“笠堀”)で $9.9\text{ng}/\text{m}^3$ である。特に夏季と秋季においては都市部が山間部より 4~6 倍大きい濃度を示す。また降水中の PAHs 量は山間部において冬季に増加する傾向が見られた。

(B) 湖沼・河川に関する論文

(3) “Study on the Behavior of Pollutants in lagoon waters in Niigata Prefecture, Japan” *Geophysical Solutions for Environment and Engineering (Proc. of the 2nd International Conference on Environmental and Engineering Geophysics)*, Vol.2, pp. 802-806 (2006), Science Press USA Inc. (ISBN 1-933100-18-4)

(4) “Environmental characteristics of lagoon waters in Niigata Prefecture based on oxygen stable isotopic ratio and the concentrations of dissolved materials” *Radioisotopes*, 掲載決定(2008 年 7 月掲載予定)

新潟県内の主な湖沼である佐潟と鳥屋野潟を中心に、信濃川の所定の地点において、酸素安定同位体比($\delta^{18}\text{O}$)、水質基本項目、有機物汚濁項目、栄養塩項目の測定を定期的に行い、汚染物質の動態や水質特性を検討した。その結果、主として下記のことが明らかになった。

佐潟の環境水において、涵養源となる地下水よりも高い $\delta^{18}\text{O}$ を示した。さらに、夏季において $\delta^{18}\text{O}$ の増加が顕著なことから、甲殻類のプランクトン等の生物作用に基づく同位体交換による影響が大きいと推定される。夏季に佐潟では、DO および DOC がともに高くなった。これは、水生植物等による光合成などの可能性が考えられる。 $\delta^{18}\text{O}$ と TOC との相関関係は、佐潟でのみ高い相関が得られ、鳥屋野潟や信濃川水系の河川水では得られなかった。佐潟では、地点間の濃度差が顕著に見られたが、下潟から水が流出する地点で $\delta^{18}\text{O}$ をはじめ pH、DOC、クロロフィル a の値が高い、下潟南側岸辺の湧き水において T-N が高い点が特徴的である。鳥屋野潟の環境水は、栄養塩項目の中でもアンモニア態窒素の濃度が特に高かった。湖沼水の $\delta^{18}\text{O}$ およびイオン濃度に及ぼす降水の影響は、佐潟と鳥屋野潟の水試料において明らかに異なる傾向を示した。

(C) 海洋・海産生物に関する論文

(5) “Determination of Rare Earth Elements, Thorium and Uranium in Seaweed Samples on the Coast in Niigata Prefecture by Inductively Coupled Plasma Mass Spectrometry” *Applied Geochemistry*, in press (scheduled to be published in August/September 2008)

新潟県本土沿岸および佐渡の各海岸計 10 箇所、29 種(緑藻 4 種、緑藻 16 種、緑藻 9

種)の計 83 試料の海藻を採取した。同時に各海岸において、海水試料を採取し、REEs, Th, U の定量を行った。その結果、主として下記のことが明らかになった。

REEs, Th 濃度においては、海藻門ごとの違いが明瞭に見られなかったのに対し、U 濃度は概して緑藻<紅藻<褐藻の順であった。海藻中の REEs, Th, U 濃度は周辺海水中の濃度に比べて概して 10^2 - 10^3 倍程度濃縮しており、その濃縮係数は重希土類(HREE)の方が軽希土類(LREE)より大きい。分析 29 種で最も高い U 濃度を示したのは、褐藻の *Undaria pinnatifida* (ワカメ)であったが、褐藻中の REEs 濃度を比較した結果、ワカメよりも高濃度を示す種が幾つか確認された。*Sargassum hemiphyllum* (イソモク)について部位別定量を行った結果、REEs 濃度に関しては茎>葉>気胞、U 濃度では葉>茎>気胞という結果が得られた。海藻による REEs の蓄積機構は、Th, U の場合と異なることが示唆される。

(D) 放射性物質 (トリチウム:³H または T) の挙動に関する論文

(6) 「T-for-H 交換反応における種々の脂肪族ジアミンの反応性」

Radioisotopes, 55(4), 183-190 (2006)

(7) 「異なる 3 種の官能基を持つ L-システイン酸と L-システインの反応性の同時解析」 *Radioisotopes*, 55(12), 709-718 (2006)

(8) 「T-for-H 交換反応における脂環式アルコール及びカルボン酸の速度論的解析」 *Radioisotopes*, 56(10), 593-603 (2007)

(9) 「T-for-H 交換反応における安息香酸誘導体の速度論的反応解析」

Radioisotopes, 57(4), 233-240 (2008)

生態系に及ぼすトリチウム(³H, T)の影響と水素を含む種々の物質の反応性を明らかにするため、(1)固気系(HTO 蒸気と同一分子内に異なる三種の官能基を持つ脂肪族化合物: L-システイン酸と L-システイン)および(2)固液系(T 標識 PVA[ポリ(ビニルアルコール)]と各種脂肪族ジアミン、脂環式アルコール・カルボン酸、安息香酸誘導体)との間の水素同位体交換反応(T-for-H 交換反応)を(1)は 50~70°C の温度範囲で、(2)は 50~90°C の温度範囲で観測した。その結果得られた観測値と *A*"-McKay プロット法とを用い、これらの反応を速度論的に解析した結果、主として下記のことが明らかになった。

異なる三種の官能基を持つ脂肪族化合物について、*A*"-McKay プロット法を使うと、その物質の反応性を、マスク剤等を使わないで非破壊的・同時分析的に明らかにできる。ある種の物質への T 取込みの程度を非破壊的・定量的に明らかにできる。*A*"-McKay プロット法と MOPAC 法とを用いると、各種脂肪族ジアミン、脂環式化合物、安息香酸誘導体の実態分析が一層可能となる。ジアミンの反応性とこのジアミン中の N 原子の相対電荷との間にある種の相関が見られる。脂環式カルボン酸の反応性は脂環式アルコールの反応性よりも高い。官能基の共鳴効果によって反応性比に 2 倍近い差が生じる。本研究で用いた安息香酸誘導体の COOH 基の反応性は Hammett 則に従うと推測できる。

(E) 重金属の挙動 (6 価クロム低減化, 浄化) に関する論文

(10) “Study on Reduction of Chromium Using Humic Substances and Clay Minerals” *Journal of Ecotechnolgy Research*, 13(2), 79-84(2007).

天然物質を用いた土壌・水環境中のクロム(Cr)低減化における最適条件を探索するため, フミン物質(フミン酸, フルボ酸), 粘土鉱物(ベントナイト, イモゴライト)等の天然物質と Cr との相互作用に関する基礎実験を pH 4-8 において行った。その結果, 主として以下のことがわかった。

フミン物質により, Cr(VI)が還元されることが確認され, さらにその効果は pH の減少とともに大きくなる。フミン物質は Cr(III)の錯形成にも関与しており, その効果は pH 5 で最大になる。また Cr(III)の錯形成は, Cr(VI)の還元よりも速やかに行われる。Cr(VI)はベントナイトのみでは除去効果が見られないものの, フミン物質の添加によってわずかに除去が見られる。イモゴライトによる Cr(VI)の除去効果は pH 6, 7, 8 においては見られなかったものの, pH 4, 5 では確認され, その除去効果は pH 4 で最大となる。