

# 危険化学物質による環境汚染, その5 —琉球列島サンゴ礁および隣接地域の農薬汚染—

北田 幸男<sup>1)†)</sup>・川幡 穂高<sup>1)2)3)</sup>・鈴木 淳<sup>3)</sup>・大森 保<sup>4)</sup>

## 1. はじめに

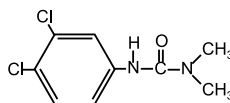
熱帯・亜熱帯域でかなり特徴的な生態系を有するサンゴ礁の劣化が世界的規模で危機的な段階に達していると近年危惧されている。琉球列島周辺でもサンゴ被度は著しく減少し、生物多様性も大幅に減少している。1998年の大規模なサンゴ白化現象以来、特に沖縄本島のサンゴ礁の破壊は顕著となっている。なお、2008年は「国際サンゴ礁年」であったのでサンゴ礁の保全について世界的規模で行動することになっている。特に、日本はこの活動に関して国際サンゴ礁イニシアチブの事務局を勤めることになっており、保全研究においてもリーダーシップを発揮することが期待されている。

サンゴ礁衰退の原因として、①オニヒトデの異常発生、②土地利用による赤土<sup>あかつち</sup>の流出、③地球温暖化による海水温の上昇、④人間が生活の中で環境中に流した化学物質などが候補となっている(Hughes *et al.*, 2003)。川幡ほか(2004)では、危険化学物質として、ノニルフェノール(NP)やビスフェノールA(BPA)等の内分泌攪乱物質について紹介した。これらの物質は、環境ホルモンと呼ばれており、ホルモンではないがホルモン様の作用をすることが知られている。そして、NPとBPAなどの環境ホルモンの汚染は、農業活動によるものでなく、家庭および/あるいは工業活動によってもたらされたものであると結論した。市街化区域を流れ、サンゴ礁と距離的に非常に近い所に流れこむ河川の堆積物でも相当量のNPとBPAが存在していることから、環境ホルモンの汚染は、すでに沖縄本島や石垣島のサンゴ礁生態系にも及んでいると報

告した(Kawahata *et al.*, 2004)。

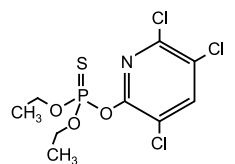
今回は、農村で多量に使用されているというジウロン、クロルピリホス、そして船底塗料として使用されているイルガロール1051を取り上げる(第1図)。ちなみにジウロン、イルガロール1051は除草効果がある。クロルピリホスは殺虫効果があり、いずれも農薬などとして使用されている(Atkinson and Atkinson, 1992; Haynes *et al.*, 2000; Tarrant *et al.*, 2004; McMahon *et al.*, 2005; Carbery *et al.*, 2006; Lam *et al.*, 2006)。これらは沖縄県における近年の使用量の多さから研究に値すると判断した。本原稿では、Kitada *et al.* (2008)をベースとしながら、わかりやすくその結果の概略を紹介する。なお、本研究に関連した分析法の開発については、Kitada *et al.* (2006)およびKitada *et al.* (2008)に詳述したので、参照されたい。

### 除草剤

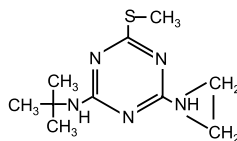


ジウロン

### 殺虫剤



クロルピリホス



### イルガロール1051

第1図 ジウロン、イルガロール1051、クロルピリホスの化学式。

キーワード：危険化学物質、環境汚染、沖縄県、サンゴ礁、農薬、除草剤、船底塗料

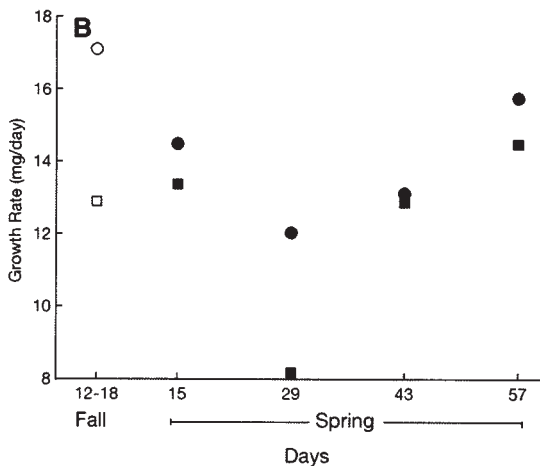
1) 東北大学 大学院 理学研究科(連携講座)

2) 東京大学 大学院 新領域創成科学研究科・海洋研究所 海洋底科学部門

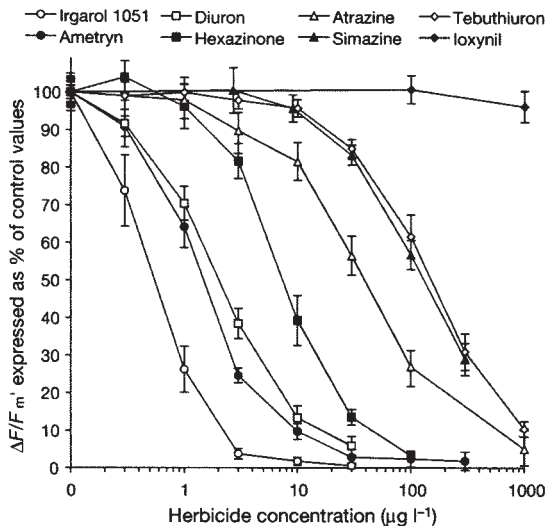
3) 産総研 地質情報研究部門

4) 琉球大学 理学部 海洋自然科学科

†) 矢崎総業株式会社



第2図 女性ホルモン(Estrone)によるサンゴの成長阻害(下)(Tarrant et al., 2004).



第3図 除草剤による褐虫藻の光合成の阻害(Jones and Kerswell, 2003).

## 2. ジウロン、イルガロールや環境ホルモンの研究

農業を営む地域では、草刈りの手間を省いたり、害虫駆除の為に除草剤のジウロンや殺虫剤クロルピリホスが使用される。これらが畑に散布された後、最終的に河川に運搬、そして環境に放出される。危険化学物質の安全性などを評価する分野では、このことを、「環境への暴露」としばしば表現される。一方、商業港や漁港では、船舶への生物体の付着物を防ぐ為に、船底塗料にイルガロール1051を混ぜることがある。もともとイルガロールは他の農薬の誘導体で、防藻作用を有している。この化合物は時間の経過とともに海水中に溶出する。NPおよびBPAなどの環境ホルモンは、主に工場排水、生活排水として環境に放出される。このように危険化学物質は、工場排水、生活排水、農業排水に含まれていて、最終的に私達の周囲の環境に存在することになる。

これまで、環境ホルモンは、汚染が強いと予想される大都市や工業地域を中心に調査・研究が実際されてきた。逆に、農薬については河川や海洋への流出の可能性が示唆されてきたものの、熱帯・亜熱帯のサンゴ礁および隣接地域の実際の河川を調査しその分布を報告した例は少ないのが現状である。

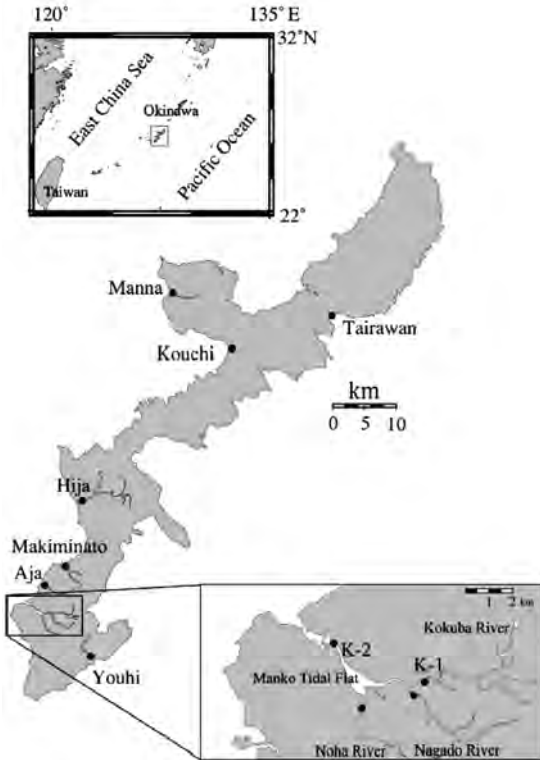
## 3. 環境ホルモンや農薬のサンゴへの影響

女性ホルモンや除草剤は造礁サンゴに影響があると報告されている。例えば、女性ホルモンの一つエストロンの添加された水槽で造礁サンゴを飼育すると、サンゴがエストロンを水中から吸収し水槽中のエストロンの濃度が減少した。エストロンが添加された水槽中で飼育したサンゴは、普通的水槽で飼育されたサンゴよりも肉の増加分が少なく、成長阻害がおこることが言われている(第2図)。そこで、女性ホルモンと同様の働きをする環境ホルモンがサンゴ礁に流入した場合、成長や生殖に関し異常をきたす可能性が高いと危惧されている。

一方、除草剤のジウロン、イルガロール1051が添加された水槽中では褐虫藻の光合成が弱くなる事が報告され、これは光合成阻害作用と呼ばれている(第3図)。したがって、除草剤がサンゴ礁に流入した場合、サンゴ体内の共生藻の光合成が阻害され、サンゴが十分な栄養を得られず衰弱してしまう可能性が指摘されている。

## 4. 沖縄本島と石垣島の概要

沖縄本島は、琉球列島の北緯26度5分、東経128

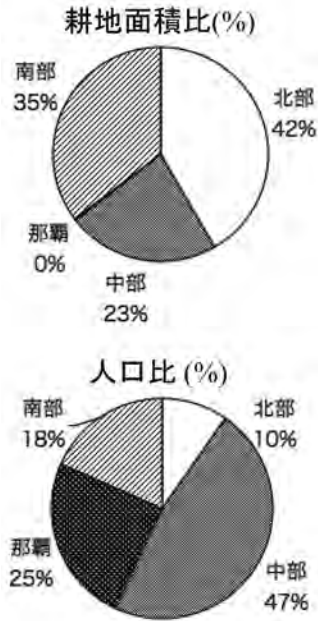


第4図 琉球列島および東シナ海の地図。

度0分に位置している(第4図)。2003年現在、沖縄本島の人口は124万人で、耕地面積と人口の関係から3つに分類することができる: 北部、中部、南部と那覇市。第5図上の円グラフは沖縄本島内における耕地面積の割合を表わす。この図から明らかのように、農耕地のほとんどは、北部と南部に存在している。那覇市は南部地域に属するものの、耕地面積は全体の0.3%と非常に少なくなっている。次に人口の割合から分けしたのが第5図下で、農耕地面積とは逆に、中部と那覇にほとんどに人口が集中している事がわかる。

人口密度は北部では低く、中部、南部で高い。特に那覇市は非常に人口密度が高く、日本国内で比較すると、東京都23区、大阪市、横浜市について、4番目に人口密度が高い市(県庁所在地)となっている。以上のように、沖縄本島の北部は農村地域、中部は人口過密地域、南部は農村と人口過密地域、那覇は人口過密の都市化した地域と分類できる。

沖縄本島の周囲には、概して陸にへばりつくように



第5図 沖縄本島の各地域における耕地面積比、人口比。

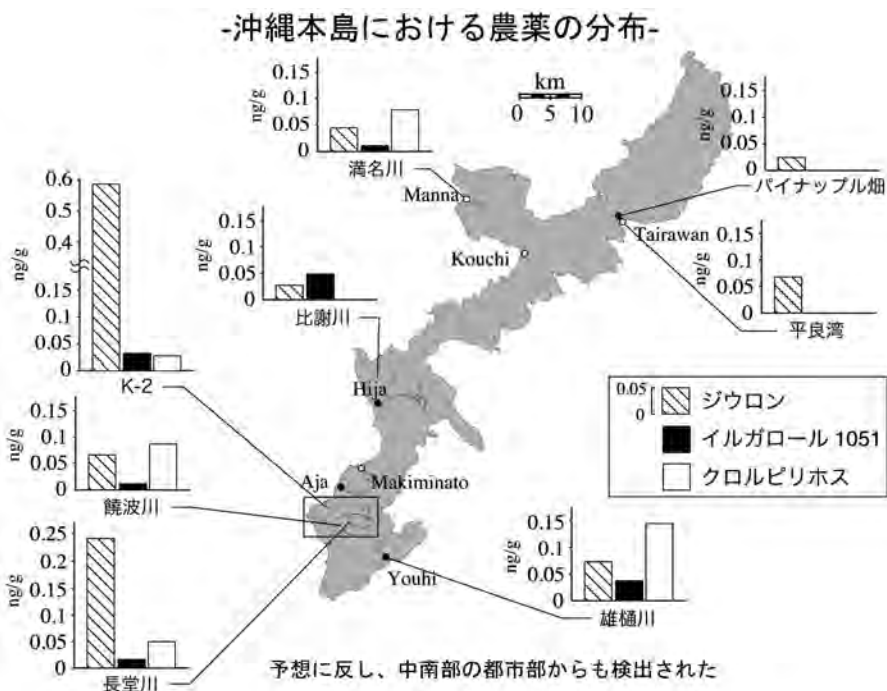
発達する裾礁型のサンゴ礁が沿岸に存在しているので、多かれ少なかれ河川からの影響を受けている。

## 5. ジウロン、イルガロール1051、クロルピリホスの化学的性質と使用状況

ジウロンは除草剤としてサトウキビやパイン畑に散布される。農業としての沖縄県におけるジウロンの使用量は全国第一位で、2004年には沖縄県で約17,000kgが使用された(JPPA, 2004)。ジウロンは酸化還元どちらの条件でも分解するという特徴があるが、海水の影響下では分解が遅い。

イルガロール1051は船の底に藻類やフジツボが付着するのを防ぐ為に船底塗料として使用されてきた。環境中における報告によれば船底塗料から溶出したイルガロールは、オクタノール/水吸着係数から予想されるよりも海水に溶けることが報告されている。また、イルガロール1051もジウロンと同様、海水中では非常に分解が遅く半減期が200日以上になる。

クロルピリホスは殺虫剤で、沖縄県では農業として2004年に557kg使用された(JPPA, 2004)。さらに、クロルピリホスはシロアリ駆除剤としても使用されてき



第6図 沖縄本島内における堆積物中のジウロン、イルガロール1051、クロルピリホスの濃度。

た。しかし、ホルムアルデヒドと同様にシックハウス症候群の原因物質であると考えられ、2003年7月に建築基本法により家屋への使用が禁止された。シロアリ駆除剤として使用された場合の分解では、半減期が1,000日以上と非常に長いことが特徴である。

### 6. 農薬の分布

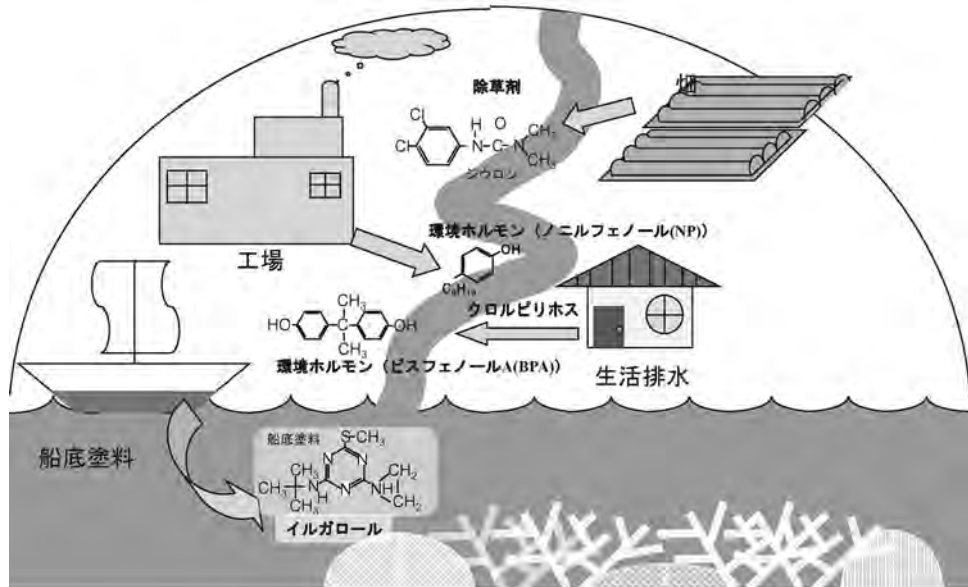
ジウロン、イルガロール1051、クロルピリホスの濃度を観測点ごとに棒グラフにしたものを第6図に示す。この図より、ジウロンとクロルピリホスは、北部の農村地域のみならず、予想に反し都市部においても検出された。

ジウロンが農村で農薬として使用されるのは当然として、実はそれ以外に、家庭用園芸や都市での除草作業に大量のジウロンが使用されてきた。そのため、北部と中南部の濃度を比較すると、農村よりもむしろ都市生活に関連した河川環境に暴露される量の方が多いことが今回明らかとなった。また、河川上流に比べ下流の方で濃度が高いことは、分解されにくい性質によることが示唆された。しかも、海水の影響を受

ける地域で濃度が高い事実は、海水中での分解が遅いという特徴を反映していると考えられる(第7図)。

クロルピリホスも那覇市で検出された。この原因としては、かつてシロアリ駆除剤として使用されたクロルピリホスが、分解速度が遅いため、古い家屋から溶脱し、環境に暴露されて、最終的に河川に流入したためと解釈された。2003年以前に家屋に使用されたと考えられるクロルピリホスが現在もなお河川で検出されていることは、危険化学物質は使用規制後も環境に相当量が残留していることを意味している(第7図)。

イルガロール1051は港もしくは漁港から離れた河川下流まで運搬され、堆積物などに吸着されていることが今回明らかとなった。このイルガロール1051は、海水に溶けやすく、かつ海水中で分解しにくい、満潮時に港から河川下流まで運ばれたと考えられるが、河川下流域まで検出可能な濃度で存在したということは予想外の結果であった。このことは、汚染源近くでは、この危険化学物質はずっと高濃度で存在しているのではないかと危惧される。また、船舶が出入りする海域でも高濃度で残留している可能性を示



第7図 代表的な危険化学物質の, 陸域より河川を通じての海洋への供給, に関する模式図.

峻している(第7図).

## 7. サンゴ礁への影響

本研究で河川堆積物中から定量されたジウロン, イルガロール1051のサンゴ礁生態系に対する危険性は次のようになると予想される(第8図). 図中に影響が発現した濃度を示した. 報告された濃度値の範囲が大変広いので横軸は対数で表示した. ▲は, サンゴに共生する褐虫藻の光合成を阻害しない最も高い濃度を表し, このような値はNOEC (No observed effect concentrationで最大無影響濃度)と呼ばれる. 逆に言う, NOECを超えると光合成に対しなんらかの影響があるということになる. ここで, ジウロンとイルガロール1051は, 堆積物中の値しかないので, 河川水中の濃度を基に吸着係数から推定した値を図中で○で表した.

両化合物とも影響を及ぼす濃度よりも低いことがわかる. これまで報告されてきた堆積物中の濃度を図中で灰色の棒グラフで示した. ジウロン, イルガロール1051の▲で示した影響濃度は棒グラフの中にある. このことは, 赤土などがサンゴを直接覆った場合には, 成長阻害および光合成阻害が引き起こされる可能性があることを意味している. サンゴ藻の研究に

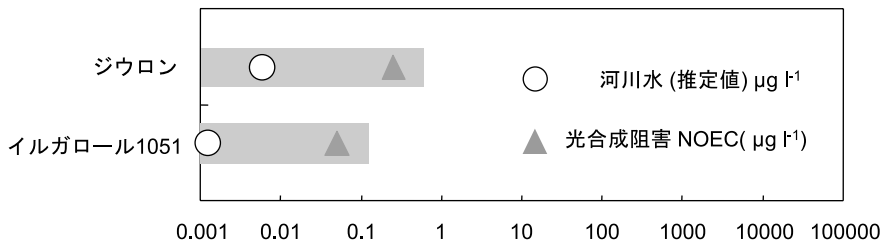
よると, ジウロンを含んだ堆積物と, 含まない堆積物とを比較すると, 前者の方が被覆の影響が大きいことが報告されている (Harrington *et al.*, 2005).

沖縄本島および琉球列島でも, 台風や大雨の時には堆積物が大量にサンゴ礁に流入することが知られており, このような際には影響が大きくなるものと考えられる.

## 8. まとめ

沖縄本島では, ノニルフェノール (NP) やビスフェノールA (BPA) 等の環境ホルモンの汚染は, 家庭および工業活動によってもたらされたものである. さらに, ジウロン, クロルピリホスなどの農薬による汚染も, 予想に反し, 農業活動の他に, 都市域の生活活動による汚染が重要で, 家庭菜園などで使用される農薬も環境汚染をもたらす.

**謝辞:** 本稿を準備するにあたって, (独)産業技術総合研究所 海洋資源環境研究部門交付金「海洋地球変動に関する研究」および科学技術振興費「一般・産業廃棄物・バイオマスの複合処理・再資源化プロジェクト」の研究費を使用した.



第8図 ジウロン、イルガロール1051における光合成阻害濃度、今回測定された値から推定した河川水濃度、そしてこれまで報告された値。

引用文献

Atkinson, S. and Atkinson, M.J. (1992) : Detection of estradiol-17 $\beta$  during a mass coral spawn. *Coral Reefs*, 11, 33-55.

Carbery, K., Owen, R., Ffrickers, T., Otero, E. and Readman, J. (2006) : Contamination of Caribbean coastal waters by the antifouling herbicide Irgarol 1051. *Mar. Pollut. Bull.*, 52, 635-644.

Harrington, L., Fabricius, K., Eaglesham, G. and Negri, A. (2005) : Synergistic effects of diuron and sedimentation on photosynthesis and survival of crustose coralline algae. *Mar. Pollut. Bull.*, 51, 415-427.

Haynes, D., Muller, J. and Carter, S. (2000) : Pesticide and herbicide residues in sediments and seagrasses from the Great Barrier Reef World Heritage Area and Queensland coast. *Mar. Pollut. Bull.*, 41, 297-287.

Hughes, T.P., Baird, A.H., Bellwood, D.R., Card, M., Connolly, S.R., Folke, C., Grosberg, R., Hoegh-Guldberg, O., Jackson, J.B.C., Kleypas, J., Lough, J.M., Marshall, P., Nystrom, M., Palumbi, S.R., Pandolfi, J.M., Rosen, B. and Roughgarden, J. (2003) : Climate change, human impact, and the resilience of coral reefs. *Science*, 301, 929-933.

Japan Plant Protection Association (JPPA) (2004) : Annual statistics on Pests and Pesticide (in Japanese), 744pp.

Jones, R.J. and Kerswell, A.P. (2003) : Phytotoxicity of photo system II (PSII) herbicides to coral. *Mar. Ecol. Prog. Ser.*, 261, 149-159.

川幡穂高・井上麻夕里・北田幸男・鈴木 淳 (2004) : 危険化学物質による環境汚染、その2-琉球列島サンゴ礁および隣接地域の外因性内分泌攪乱物質 (環境ホルモン) ノニルフェノールとビスフェノールAの汚染-。地質ニュース, no.603, 20-24.

Kawahata, H., Ohta, H., Inoue, M. and Suzuki, A. (2004) : Endocrine disrupter nonylphenol and bisphenol A contamination in Okinawa and Ishigaki Islands, Japan - within coral reefs and adjacent river mouths -. *Chemosphere*, 55, 1519-1527.

Kitada, Y., Kawahata, H., Suzuki, A. and Oomori, T. (2006) : Concentrations of Nonylphenol and Bisphenol A in the Okinawa Island using liquid chromatography-electrospray tandem mass spectrometry. *Proceedings of the 10<sup>th</sup> International Coral Reef Symposium*, 810-818.

Kitada, Y., Kawahata, H., Suzuki, A. and Oomori, T. (2008) : Distribution of pesticides and bisphenol A in sediments collected from rivers adjacent to coral reefs. *Chemosphere*, 71, 2082-2090.

Lam, K.H., Wai, H.Y., Leung, K.M.Y., Tsang, V.W.H., Tang, C.F., Cheung, R.Y.H. and Lam, M.H.W. (2006) : A study of the partitioning behavior of Irgarol-1051 and its transformation products. *Chemosphere*, 64, 1177-1184.

McMahon, K., Bengston Nash, S.M., Eagelshman, G., Muller, J.F., Duke, N. and Winderrich, S. (2005) : Herbicide contamination and the potential impact to seagrass meadows in Harvey Bay, Queensland, Australia. *Mar. Pollut. Bull.*, 51, 325-334.

Tarrant, A.M., Atkinson, M.J. and Atkinson, S. (2004) : Effects of steroidal estrogens on coral growth and reproduction. *Mar. Ecol. Prog. Ser.*, 269, 121-129.

KITADA Yukio, KAWAHATA Hodaka, SUZUKI Atsushi and OOMORI Tamotsu (2009) : Environmental pollution by toxic chemicals - Contamination of pesticides within coral reefs and adjacent river mouths in the Ryukyu islands - .

<受付：2008年8月28日>