

西表島西部網取湾周辺水域の化学成分組成

三上一行，三浦恭之

〒 259-1292 神奈川県平塚市北金目 4-1-1

東海大学 理学部 化学科

E-mail: ikmikami@keyaki.cc.u-tokai.ac.jp

(2012 年 9 月 21 日受付；2012 年 11 月 26 日受理)

Chemical Composition of the Waters around Amitori Bay in Western Part of Iriomote Island, Okinawa, Japan

by

Ikko MIKAMI and Yasuyuki MIURA

Department of Chemistry

School of Science, Tokai University

Hiratsuka, Kanagawa, 259-1292, Japan

E-mail: ikmikami@keyaki.cc.u-tokai.ac.jp

(Received on Sept. 21, 2012; accepted on Nov. 26, 2012)

Abstract

The chemical compositions of the Udara River water, the Amitori Bay water and rainfall in western part of Iriomote Island, Okinawa, Japan were measured to realize the characteristic of each water and their mutual relationships. The concentrations of Na^+ and Cl^- and the electrical conductivity of Udara River water in freshwater area were higher than their mean value for rivers in Japan, indicating sea salt affected the water characteristic. Since the concentration of HCO_3^- of Udara River water in freshwater area was relatively low, the pH was thought to be susceptible to acid rainfall. However, the mean value of pH measured was 5.4 and the rainfalls classified into acid rainfall were rare. EC tended to gradually increase from the mouth of the Udara River (closed-off section of Amitori Bay) to the entrance of the Amitori Bay, indicating that the water characteristic for Udara River influenced that of vast area of Amitori Bay at least for surface layer water. The supply of nitrate, organic matter and trace metal elements (Fe, Cr, Ni, Cu and Mn) from

Udara River to Amitori Bay was observed.

1 緒言

西表島西部の網取湾周辺地域の自然は人為影響が非常に少なく, 多様な生態系が形成されている。網取湾内には, 希少種を含め, 多くの種類のサンゴ礁が形成され, そこに様々な海洋生物が生息している。また, 網取湾に流入するウダラ川およびアヤンダ川流域にはマングローブが群生しており, 周辺の干潟には多種の軟体動物や甲殻類生物等が生息し, 特殊な生態系が形成されている。これまでに, 同地域でのサンゴやマングローブを始めとする動植物の生態に関する調査が数多く行われてきている [1–6]。これらの生物の生育に対して, 河川および海水の水質は影響を与え, 逆にそれらが水質形成に影響を与えることが考えられるが, 同地域での広範囲で幅広い項目の化学的な水質調査はこれまでに行われてきていない。同地域内の生態系を理解するには, 全体的な水質を把握することは重要なことである。網取湾は奥行 3.5 km ほど, ウダラ川は全長 2.5 km ほどと比較的狭い地域であり, しかも現在は人為影響が非常に少ないため, 水質と生態系および生態系間の関連性を知るための調査に適した環境といえる。今後この地域の開発が進み, 環境が変わった時の水質や生態系を考慮すると, 現段階で調査しておくことが重要である。また, 西表島は台湾やユーラシア大陸に近いので, それらの地域から流入する酸性降下物が河川水の水質形成に影響を与える可能性があるが, その影響の程度はこれまで明らかになっていない。

本研究では, これらの知見を得るのに有用となる当地域の河川水や海水の水質形成の特徴や水質形成に影響を与える因子を明らかにすることを目的として, 網取湾に流れ込む河川水質, 河川水質と網取湾内水質の関連, 河川水質に影響を与える降水の特性について調査した。

2 方法

2.1 調査対象地域

西表島は, 沖縄本島の南西およそ 350 km, 台湾の東約 200 km に位置する八重山諸島の一島である。亜熱帯海洋性気候に属し, 年間平均降水量は 2500 mm 前後, 年平均気温は 23.3°C である。西表島の面積は約 290 km² で, その 80% 以上は亜熱帯性の森林に覆われている。人口は約 2300 人 (2009 年) で, 主な産業は農業と観光である。

網取地域は西表島の西部に位置し (Fig.1), 人の居住地域からの陸路での通行は困難であり, 交通手段は船のみである。網取湾には, ウダラ川およびアヤンダ川の 2 つの河川水が湾の奥に流入する。網取湾周辺水域の調査として, ウダラ川で 5 地点 (A~E 地点), 網取湾内の 4 地点 (F~I 地点) で 2009 年から 2012 年の 9 月と 3 月 (計 6 回) に, 干潮時に表層水をサンプリングした (Fig.2)。A 地点は遷急点の上流に位置し, B~E 地点は汽水域である。C~E 地点にかけてマングローブ (ヤエヤマヒルギ *Rhizophora mucronata* やオヒルギ *Bruguiera gymnorhiza*) が群生している。網取湾内の F 地点は河口付近の浅瀬, G 地点は水深 3 m 程度のサンゴが生育している場所, H 地点はサンゴ礁のリーフエッジ, I 地点は水深 50 m 程度の湾の入り口である。ウダラ川流域付近の地質は, 主に砂岩シルト岩互層, 砂岩, 石炭, 炭質シルト岩で構成される [7]。ウダラ川の水質と比較するために, 西表島内の他の 3 河川 (浦内川, 大見謝川, 相良川; 測定地点はそれぞれ J, K, L) の淡水域の水を採取し, 成分調査を行った。

雨の採取は東海大学沖縄地域研究センター浦内施設 (M 地点) で 2011 年 9 月から 2012 年 6 月までの期間およそ月に 2~3 度の頻度で行った。

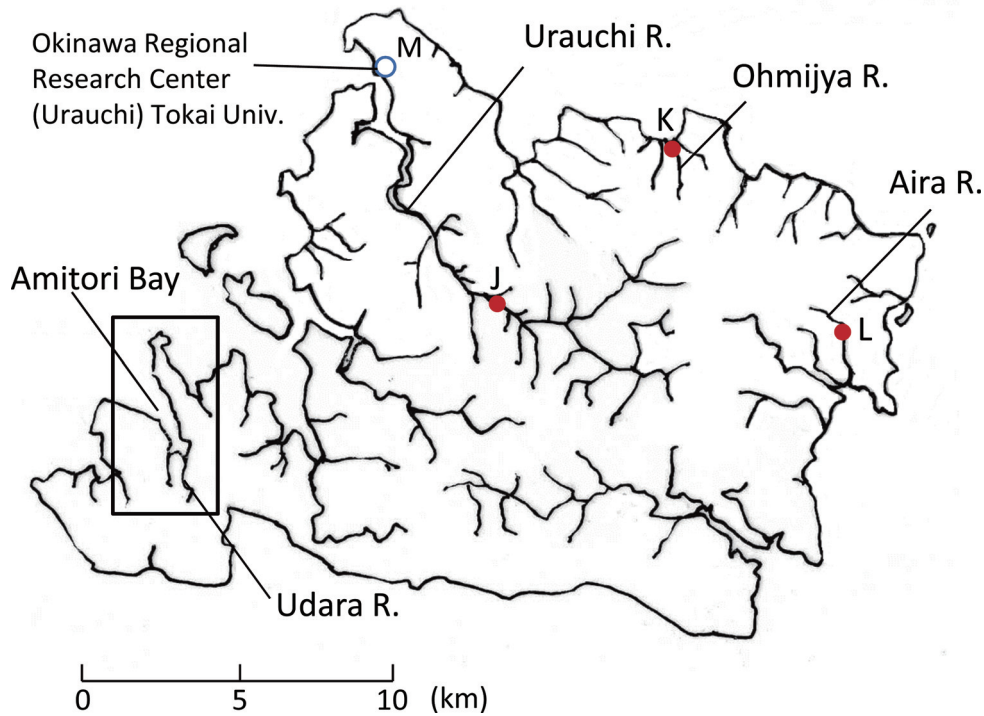


Fig. 1: Map of Iriomote Island and sampling sites

2.2 試料採取および分析方法

河川水および海水試料は各地点で表層水を採取し、孔径 $0.2\mu\text{m}$ メンブレンフィルターでろ過したのち分析した。水温、溶存酸素 (DO) の測定は現地で行った。雨水は採水装置 (HORIBA, 酸性雨分取器 AR-8II) を用いて、降り始めから 1 mm ごとに一降水につき最大 8 mm まで試料カップに分けて採取し、孔径 $0.2\mu\text{m}$ メンブレンフィルターでろ過したのち分析した。

pH は pH メーター (HORIBA, pH METER F-11), 電気伝導率 (EC) は EC メーター (TOA, EC METER MC-30G), DO は DO メーター (METTLER TOLEDO, SG6) を用いてそれぞれ測定した。主要イオン成分 (Na^+ , K^+ , Ca^{2+} , Mg^{2+} , NH_4^+ , F^- , Cl^- , SO_4^{2-}) はキャピラリー電気泳動法 (Agilent Technologies, G1602A) で測定した。河川水、海水中の NO_3^- および NO_2^- はナフチルエチレン吸光光度法, NH_4^+ はインドフェノールブルー吸光光度法により FIA (JUSCO, 検出器:UV-2070 あるいは UV-2075, 送液ポンプ:UV-2080) で定量した。降水中の NH_4^+ , NO_3^- , NO_2^- の測定はキャピラリー電気泳動法で行った。 HCO_3^- は酸滴定法でそれぞれ測定した。Cr, Mn, Fe, Ni, Cu, Zn は、水酸化ランタン共沈法 [8] により試料成分を 8 倍濃縮したのち ICP 発光分析法 (SII, SPS1200VR) で測定した。

非海塩性起源 (nss: non sea salt) の成分濃度は, Cl^- をすべて海塩由来とし, Cl^- と対象成分の海水中成分濃度比を用いて求めた。例として nss- Ca^{2+} 濃度の算出式を式 (1) に示す。

$$[\text{nss-Ca}^{2+}] = [\text{Ca}^{2+}]_{\text{Sample}} - [\text{Ca}^{2+}]_{\text{Sea}} / [\text{Cl}^-]_{\text{Sea}} \times [\text{Cl}^-]_{\text{Sample}} \quad (1)$$

ここで, $[\text{Ca}^{2+}]_{\text{Sample}}$ と $[\text{Cl}^-]_{\text{Sample}}$ は各々試料中の Ca^{2+} と Cl^- の濃度 (mol/L) を示す。なお, 非海塩性起源成分濃度の計算では Na^+ との比から求めることが多いが, 河川水の場合鉍石の化学風化により Na^+ が溶出することがあるため, Cl^- との比から求め, 降水中の非海塩性起源成分濃度の計算もそれに合わせた。

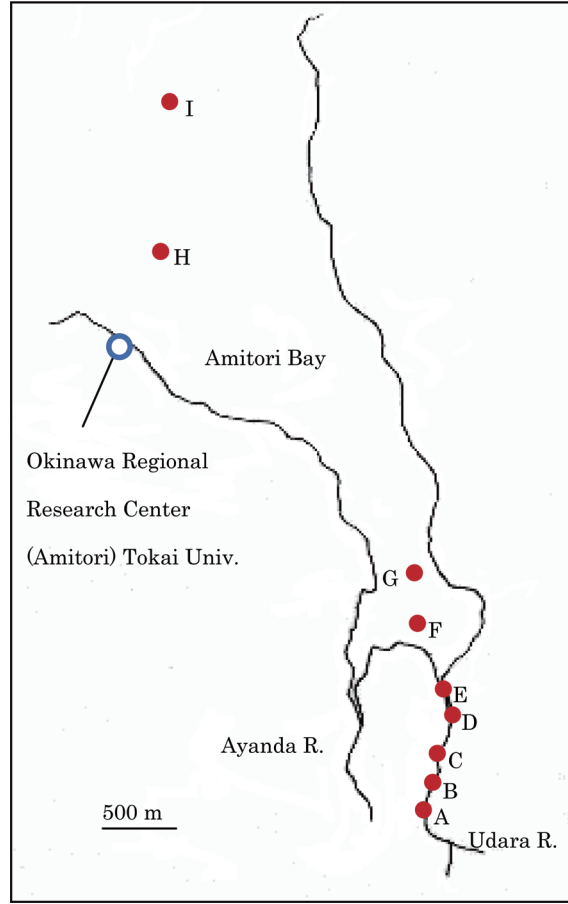


Fig. 2: Sampling sites on Udara river and Amitori bay

降水試料の pH の平均値は式 (2) により求めた。

$$\text{pH} = -\log \frac{\sum (10^{-\text{pHi}} \times \text{Vi})}{\sum \text{Vi}} \quad (2)$$

ここで, pHi は pH の測定値, Vi は試料体積を示す。

3 結果と考察

3.1 ウダラ川の水質特性

網取湾に流れ込むウダラ川の淡水域の水質特性を明らかにするため, 主要溶存成分の化学分析を行い, 西表島の他の河川の測定結果 (2012 年 3 月試料採取) および国内河川の平均値と比較した (Table 1)。ウダラ川の水質は, 他の 3 河川と同様に, アルカリ非炭酸塩型の水質に分類された。測定した 4 河川の Na^+ , Cl^- 濃度は, 国内河川の平均値 (それぞれ 6.7 mg/L, 5.8 mg/L) [9] と比べて高く, 特にウダラ川で高い値を示した。このことから, いずれの河川水も海塩の影響を強く受けているが, 特にウダラ川の採水地点が海水域から近く, その影響が強く現れたと考えられる。

一方ウダラ川の HCO_3^- 濃度は, 浦内川や大見謝川に比べると高いが, 日本河川の平均値 (それぞれ 31 mg/L) [9] よりも低い値であった。西表島西部の土壌はケイ質砂岩の割合が高く化学風化が起こりにくいために, HCO_3^- 濃度が低いと推測される。 HCO_3^- 濃度の低い河川では, 酸性の降水に対する緩

Table 1: Concentration of chemicals in the Udara River and other rivers

River	Udara R.	Urauchi R.	Ohmijya R.	Aira R.
Sampling point	A	J	K	L
pH	7.39	6.80	6.92	7.56
EC (mS/m)	22.6	8.28	11.0	16.5
COD (mg/L)	1.1	1.2	1.3	1.2
BOD (mg/L)	0.50	0.52	0.59	0.51
NH ₄ ⁺ (mg/L)	0.04	0.03	0.03	0.02
Na ⁺ (mg/L)	33.8	12.3	16.0	19.6
K ⁺ (mg/L)	1.4	0.80	0.70	1.1
nss-K ⁺ (mg/L)	0.17	0.39	0.35	0.12
nss ratio (%)	12	49	51	11
Mg ²⁺ (mg/L)	5.7	1.5	2.1	3.9
Ca ²⁺ (mg/L)	6.9	1.2	2.0	9.3
nss-Ca ²⁺ (mg/L)	5.7	0.80	1.5	8.7
nss ratio (%)	83	69	74	93
HCO ₃ ⁻ (mg/L)	18.9	4.9	5.5	16.5
NO ₃ ⁻ (mg/L)	0.17	0.22	0.34	0.19
Cl ⁻ (mg/L)	56.3	18.0	24.8	29.9
SO ₄ ²⁻ (mg/L)	10.6	4.4	4.9	6.9
nss-SO ₄ ²⁻ (mg/L)	2.7	1.9	1.4	2.7
nss ratio (%)	26	43	29	39

NO₂⁻, F⁻: not detected

衝能が低く、降水後に降水の pH が河川水の pH に影響することが示されており [10]、ウダラ川上流域でも pH の低い雨が降った場合には水質に若干の影響が生じることが考えられる。

NH₄⁺, NO₃⁻ 濃度はともに人為汚染のない河川上流域でみられるような低い値であった。ウダラ川流域、および集水域では人の居住や農作地はないため、NH₄⁺ や NO₃⁻ の供給はこれまでの報告 [11, 12] と同様に主に大気からの沈着であると考えられる。初期降水中の NH₄⁺, NO₃⁻ 濃度はそれぞれ 1.2 mg/L, 1.7 mg/L (後述) とウダラ川中の濃度に比べて高く、これらの成分が森林土壌で吸収され河川への溶脱は少ないことを示唆している。河川中、降水中ともに NO₃⁻ 態窒素の方が濃度が高かったが、河川水の方が降水中よりも NH₄⁺ 濃度に対する NO₃⁻ 濃度の比は高かった。このことは Ishiki ら [12] が述べているように、NH₄⁺ 態の土壌成分への吸着が NO₃⁻ 態よりも高いこと、あるいは環境中での微生物による NO₃⁻ への酸化によるものと推測される。また、BOD, COD は低く、上流域での有機物の供給は少ないことが示されている。

nss-SO₄²⁻ 濃度の国内河川の平均値は 9.8 mg/L であり、それに比べて島内 4 河川の nss-SO₄²⁻ 濃度は低い値を示した。また、全 SO₄²⁻ 濃度に占める nss-SO₄²⁻ の割合は島内 4 河川の値は国内河川の平均 (90%) に比べて低く、ウダラ川が最低であった。この地域での河川への nss-SO₄²⁻ の供給源は、大気からの沈着、土壌中の黄鉄鉱の酸化であると推測されるが [12]、人為由来の大気中 SO₄²⁻ 濃度が低いために当地域の nss-SO₄²⁻ は低いこと、および海塩の影響を強く受けているために nss-SO₄²⁻-比率

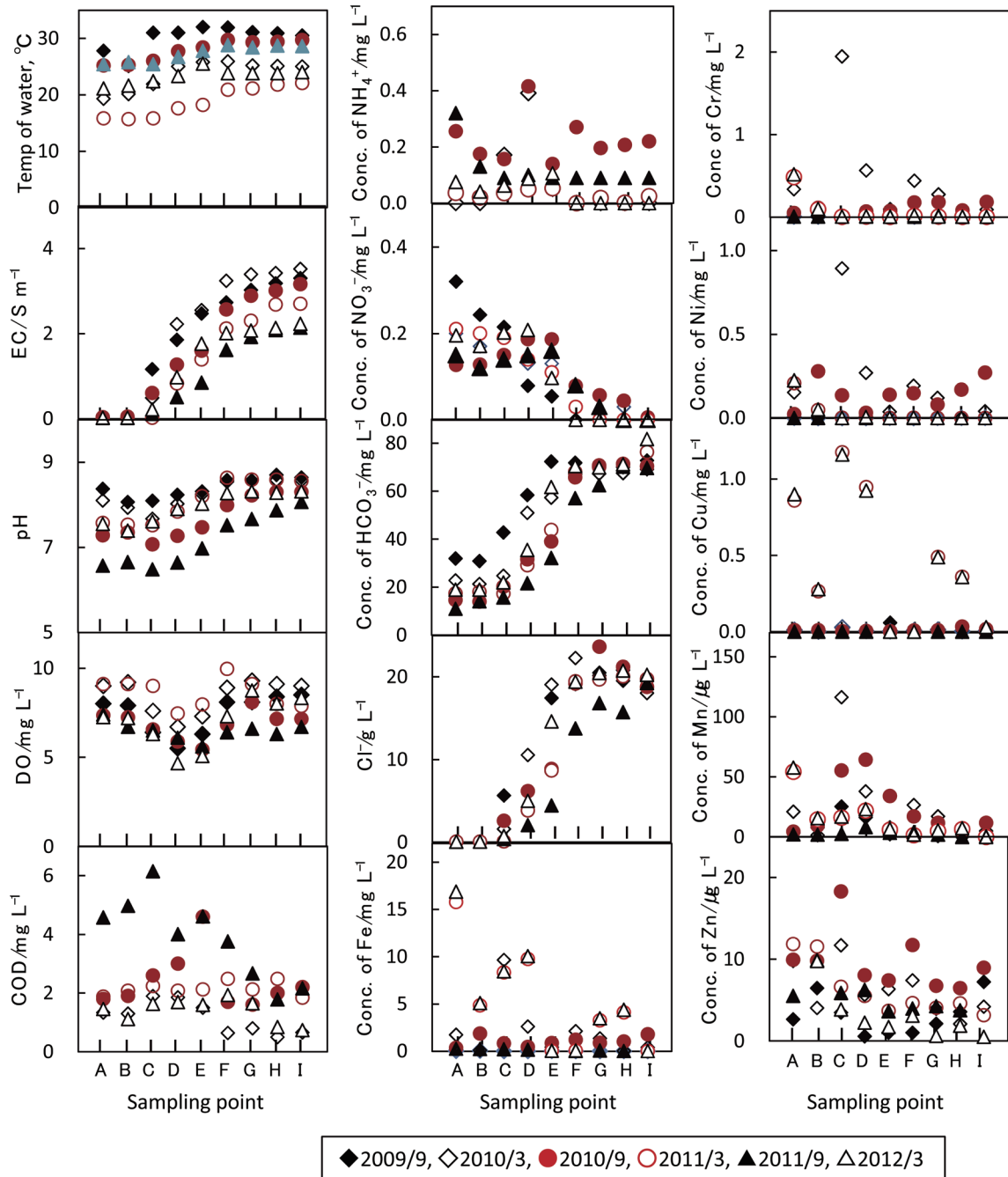


Fig. 3: Concentration of chemicals in the Udara River and Amitori Bay

が特にウダラ川で低いことが考えられる。

3.2 ウダラ川流域から網取湾内の化学成分組成

ウダラ川淡水域から網取湾にかけての水質の変化を調査した。主な測定項目の結果を Fig.3 に示した。ウダラ川流域の採水地点において、EC, HCO_3^- 濃度, Cl^- など海塩を構成する主要なイオンの濃度は C 地点より下流域で徐々に増加しており、干潮時でも C 地点までは流入した海水の影響が観察された。これらの項目では、網取湾の奥のウダラ川河口付近 (F 地点) から湾の入り口 (I 地点) にかけてわずか

ではあるが徐々に値が増大する変化が見られ、湾内でも少なくとも表層水は河川水の影響を受けていることがわかった。これらの項目では淡水と海水の混合比により値が変化すると考えられる。

一方、pH や DO は、マングローブ群生域にて値が低下した。また、傾向は明確ではないが COD や NH_4^+ はその付近で値の増加が見られた。マングローブ群生域の底泥中に有機物が多く含まれており、その分解により DO や pH の低下や、可溶性の有機物の供給による COD の増加、分解に伴うアンモニウム塩の増加が起こったためであると考えられる。9 月の試料は 3 月の試料に比べて、比較的 DO が低く、COD は高い傾向が見られた。これは高橋ら [13] が示唆しているように 9 月の方が水温が高く、有機物の分解がより促進されたことが原因として考えられる。また、2011 年 9 月採取試料の COD の値は A, B 地点でも高く、時期によってはマングローブ群生域のみではなくそれより上流からも有機物が供給される場合があることがわかった。

NO_3^- は河川域での濃度変化は小さく、流域内での NO_3^- の供給はわずかであった。網取湾の奥から入口にかけて濃度勾配がみられ、河川から供給された NO_3^- が湾内に広く拡散している様子が観察された。

Fe, Cr, Ni, Cu, Mn は河川流域のある地点で突然値が高くなるように値の連続性が乏しく、供給源は明確でなかった。また、同じ試料採取地点でも試料採取日により ppm オーダーで検出される場合や未検出になる場合と大きく差がみられたものの、概ね河川の方が湾内に比べて濃度が高い傾向が見られた。海水による希釈に加え、河川水に供給されたこれらの成分が海水と混合すると沈殿するため河口域では急激に濃度が低下したと考えられる。それに対し Zn は、河川域と海域での濃度の差は小さかった。日本の非汚染河川水の Mn, Ni, Cu, Zn の濃度範囲は、それぞれ $3.5\sim 15\ \mu\text{g/L}^{-1}$, $3.0\sim 3.3\ \mu\text{g/L}^{-1}$, $0.6\sim 9.6\ \mu\text{g/L}^{-1}$, $1.9\sim 54\ \mu\text{g/L}^{-1}$ と平山らは報告している [14]。これらの値と A あるいは C 地点で得られた最高濃度の値を比較すると、Zn を除いて後者の方が大幅に高い値であった。流域の土壌や底泥に含まれるこれらの成分が、溶出したものと推察される [13, 15, 16]。

3.3 降水の化学成分組成

河川水の水質に影響を与えることが考えられる降水の水質測定を行った。2011 年 9 月から 2011 年 6 月までの期間の月ごとの降水量を Fig.4 に示した。この間の降水量は 2037 mm であり、9 月と 3 月が少なく、10 月が多かった。

Table 2 に、全採取試料（降り始めから最大 8 mm まで）の平均値、降り始めから 4 mm までの採取試料の 1 mm ごとの平均値、および 1989～1993 年の間に実施された国内 29 ヶ所の降水の平均値 [17] を示した。表中の採取試料の値が初期降水の平均値であるのに対し、国内平均値は全降水の平均値であるため、表中の多くの項目の値は国内平均値よりも高い値となっているが、特に Na^+ や Mg^{2+} , Cl^- のような海洋から主に供給される成分の濃度が国内平均値に比べて大幅に高く、それに伴って EC も高い値を示した。また、全 SO_4^{2-} に対する非海塩性 SO_4^{2-} の割合は 46% であり、国内平均の 90% に比べて低い値であった。このように西表島の降水には海塩の影響が明確に表れており、海に囲まれた環境が反映された結果であった。Fig.5 に EC および Cl^- 濃度の採取日による変化を示した。採取日により値に大きな差が見られ、12 月や 3 月に非常に高い値が得られ、逆に 10 月から 11 月にかけての雨は比較的低い値となった。 Cl^- 濃度は、一日の降水量と反比例の関係が見られ、風速や風向きにも大きな影響を受けることが報告されている [18] が、本研究で高い値が得られた 12 月および 3 月の測定日は一日の降水量が少なく (4 mm 以下)、北寄りの風の強い日であった。

Ca^{2+} や NH_4^+ , NO_3^- のような主に陸地から供給される成分濃度も、国内平均値よりも高い値であった。 nss-Ca^{2+} は既報 [18-20] に述べられているように石灰岩由来の粉じんや大陸起源の土壌粒子の流入が考えられ、また NH_4^+ については既報 [17] と同様に主に有機物の廃物が分解されて発生していると

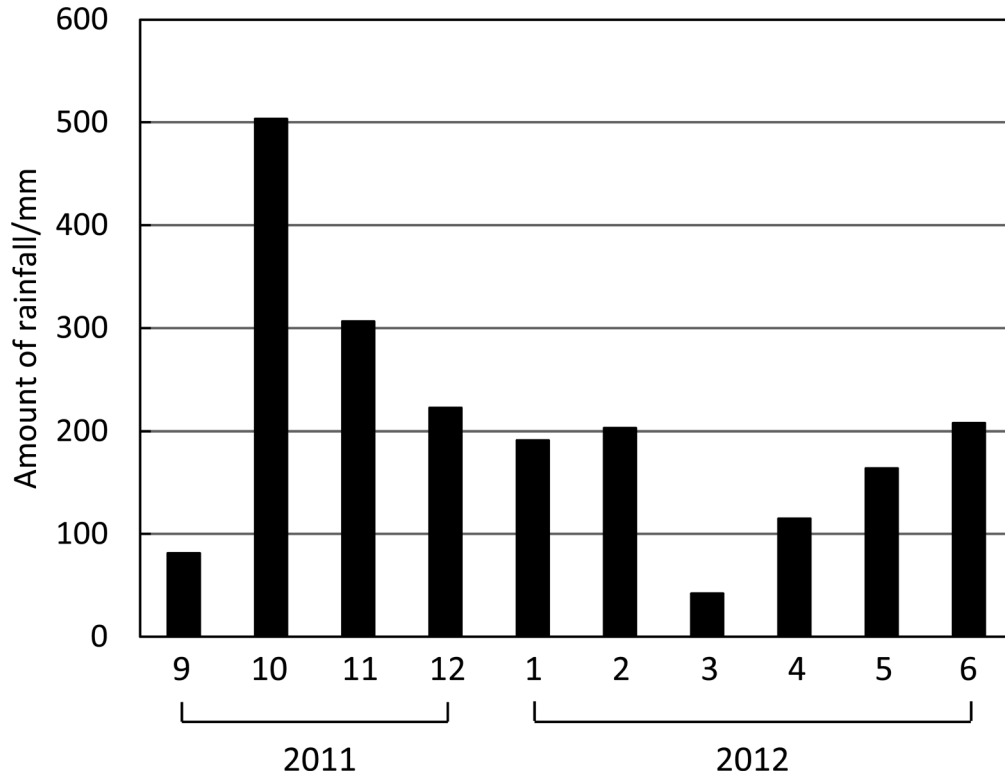


Fig. 4: Monthly distribution of rainfall amount on Iriomote island

Table 2: Concentration of chemicals in rainfall

	0~1mm	1~2mm	2~3mm	3~4mm	Ave. (Iriomote)	Ave. (Japan)*
pH	4.8	6.2	6.1	6.2	5.4	4.8
EC (mS/m)	10.5	8.7	6.9	4.9	7.5	2.1
NH ₄ ⁺ (mg/L)	2.0	1.8	0.9	2.0	1.2	0.3
Na ⁺ (mg/L)	13.2	10.0	9.5	7.8	9.9	1.1
K ⁺ (mg/L)	5.2	5.6	6.4	5.1	5.4	0.1
nss-K ⁺ (mg/L)	4.6	5.2	6.0	4.9	5.0	0.1
Mg ²⁺ (mg/L)	1.3	1.1	0.8	0.5	0.9	0.2
Ca ²⁺ (mg/L)	1.6	1.1	0.9	0.8	1.0	0.3
nss-Ca ²⁺ (mg/L)	1.1	0.7	0.5	0.5	0.7	0.3
Cl ⁻ (mg/L)	25.7	19.2	18.2	12.1	18.5	2.3
NO ₃ ⁻ (mg/L)	2.7	1.5	1.0	0.6	1.6	0.9
SO ₄ ²⁻ (mg/L)	6.5	4.0	4.5	2.8	4.8	2.1
nss-SO ₄ ²⁻ (mg/L)	3.1	1.5	2.1	1.2	2.2	1.9

*[17]

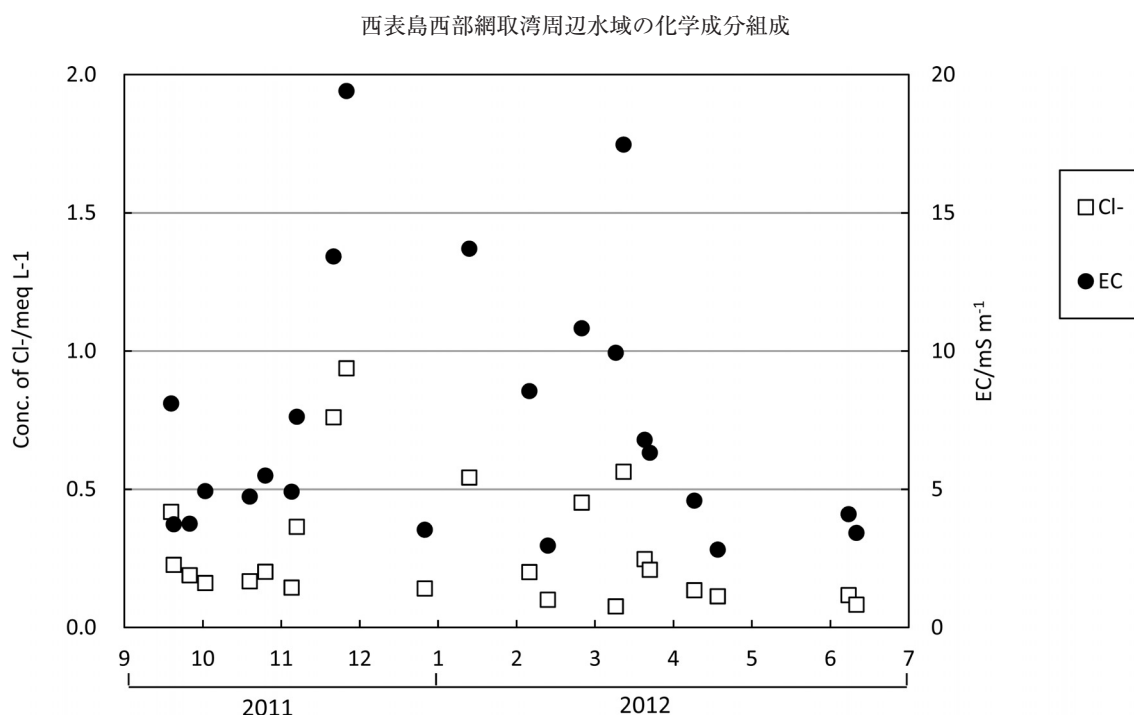


Fig. 5: Variation of EC and concentration of Cl^-

考えられる。島内の自動車の通行量や産業を考えると、 NO_3^- は島外からの流入が主に寄与していると推測される。 K^+ は非海塩性の割合が高かった。その起源として、植物体からの放散が挙げられる [21]。特に高温・多湿条件下では、葉から K^+ を多く含む溶液が放出され、溶液の一部がエアロゾルとして放出されることが報告されており、西表島の環境はその放散量が多いと考えられる。

測定試料の平均 pH は 5.4 と国内平均値 4.8 に比べて高い値であった。1 降水平均値が pH5.6 未満であった降水数は 3 (全測定降水数 24) と、酸性雨に分類される降水はわずかであった。降水の pH に寄与する酸性成分 (nss-SO_4^{2-} , NO_3^-) と塩基性成分 (nss-Ca^{2+} , NH_4^+) の比は 0.6 と国内平均の 1.5 と比べて低かった。塩基性成分供給量の多さが pH の高い要因と言え、 $\text{nss-Ca}^{2+}/\text{NH}_4^+$ 当量比は 0.52 と低いことから (国内平均値 0.9), NH_4^+ の pH への寄与がより強いと考えられる。また、 $\text{NO}_3^-/\text{nss-SO}_4^{2-}$ 当量比は 0.57 と国内平均値 0.3 に比べて高く、 NO_3^- の pH への寄与が比較的高いことがわかった。

Fig.6 に pH および nss-SO_4^{2-} , NO_3^- , nss-Ca^{2+} , NH_4^+ 濃度の採取日による変化を示した。pH は概ね 5.6 以上であり、9 月から 11 月にかけてが 7 以上と高く、12 月から 3 月の間に 5.6 未満となる降水がみられた。 NO_3^- や nss-SO_4^{2-} 濃度は時期により大きく変動し、12 月から 3 月の間に高い値を示した。季節風により大陸や台湾から酸性物質が輸送されたことにより降水の pH が低下したと考えられる。 NH_4^+ 濃度は、 NO_3^- や nss-SO_4^{2-} 濃度が低かった 9 月から 11 月の間も高い値が示されており、島内からの供給が示唆される。 nss-Ca^{2+} は、3 月から 6 月にかけて高く、降水量が少ないこの時期に石灰石由来の粉じん量が増加したことや、炭酸カルシウム等を含む大陸起源の土壌粒子が流入したことなどが考えられ、既報 [19, 20] と同様な原因が指摘できる。

降り始めから 4 mm までの 1 mm ごとの測定結果は、EC, Cl^- , Mg^{2+} , Na^+ , NO_3^- など多くの項目で初期値が大きく、徐々に値が小さくなる変化がみられた。大気中に浮遊していた海塩成分や気体成分が取り込まれていくことによると考えられる。それに対して、 NH_4^+ や K^+ は値の大きな変動がなく、これらは降水中も島内から供給され続けていることを示唆している。

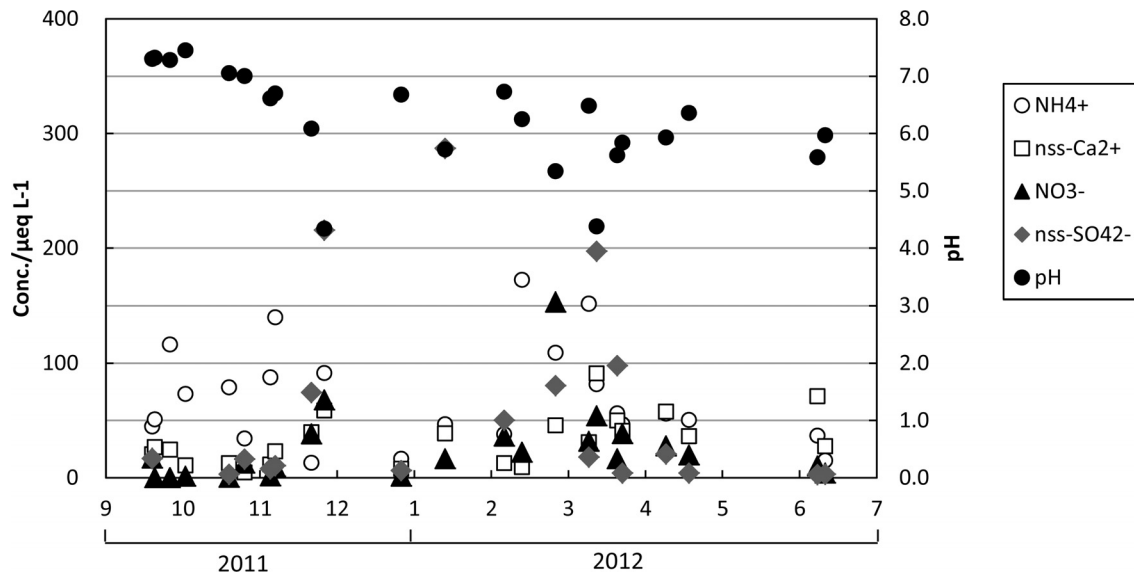


Fig. 6: Variation of pH and concentration of NH_4^+ , nss-Ca^{2+} , NO_3^- and nss-SO_4^{2-}

4 まとめ

西表島西部網取湾周辺の河川水や海水の水質の特徴や水質形成に影響を与える因子に関して以下のことを明らかにした。このことは現在人為影響が非常に少ない西表島の網取湾に流れ込む河川水質、河川水質と網取湾内水質の関連を知り、今後この地域の開発が進み、環境が変わった時の水質や生態系を考えるうえでの基礎データとしての重要な知見となる。

- 1) 網取湾に流れ込むウダラ川は、淡水域でも Na^+ や Cl^- 等の主要塩濃度の値が高く、海塩の影響を強く受けていることがわかった。降水中の海塩由来成分濃度は国内平均に比べ非常に高く、降水から上流域に供給されることが示唆された。また EC, HCO_3^- 濃度、海塩を構成する主要イオン濃度の値は上流域から下流域で徐々に増加しており、干潮時でも潮汐により流入した海水の影響が観察された。さらにこれらの項目では、網取湾の奥のウダラ川河口付近から湾の入り口にかけてわずかなではあるが徐々に値が増大する変化が見られ、湾内でも少なくとも表層水は河川水の影響を受けていることがわかった。
- 2) ウダラ川上流域の HCO_3^- 濃度は日本河川の平均値よりも低く pH に対する緩衝能が比較的小さいことから、降水が河川水の pH に影響を与えやすいことが示された。ただし、測定された降水の平均 pH は 5.4 と国内平均値 4.8 に比べて高い値であり、酸性雨に分類される降水はわずかであった。塩基性成分供給量の多さが pH の高い要因であり、特に NH_4^+ の pH への寄与がより強いことが示唆された。9 月から 11 月にかけてが pH は 7 以上と高く、12 月から 3 月の間に 5.6 未満となる降水がみられた。酸性成分の NO_3^- や nss-SO_4^{2-} 濃度は 12 月から 3 月の間に高い値を示し、季節風により大陸や台湾から酸性物質が輸送されたことによりその時期に低い pH の降水がみられたと考えられる。 NH_4^+ 濃度は、9 月から 11 月の間も高い値が示されたことや、降り始めからの値の変動が小さかったことから、島内から主に供給されていることが示唆された。

- 3) ウダラ川上流域での NO_3^- 濃度は低く、またその濃度変化は小さく流域内からの供給はわずかであった。COD や NH_4^+ 濃度は、傾向は明確ではないがマングローブ群生域付近で値の増加が見られた。マングローブ群生域の底泥中に有機物が多く含まれており、その分解により COD, NH_4^+ 濃度が増加したと考えられる。Fe, Cr, Ni, Cu, Mn は河川流域のある地点で突然値が高くなるように値の連続性が乏しく、供給源は明確でなく、また同じ試料採取地点でも試料採取日により濃度に大きな差がみられたものの、概ね河川の方が湾内に比べて濃度が高い傾向が見られた。 NO_3^- や有機物、金属種 (Fe, Cr, Ni, Cu, Mn) は概して河川の方が湾内に比べて濃度が高く、湾内での濃度に勾配が見られたことから、これらの成分が河川から湾内に供給されていると考えられる。

謝辞

本研究は東海大学沖縄地域研究センター助成研究の一環として行われた。本研究を行うにあたり、東海大学理学部鶴岡靖彦教授、東海大学海洋研究所河野裕美准教授、東海大学沖縄地域研究センター技術員の水谷晃氏、崎原健氏には、多大な研究支援と協力を賜った。記して深く感謝いたします。

参考文献

- [1] Y. Nakamura, M. Sano : Fisheries Science, **71**, 543 (2005).
- [2] 梶原健次, 横地洋之, 永井 彰, 上野信平: 東海大学海洋研究所研究報告, **18**, 1 (1997).
- [3] 上野淳一, 河野裕美, 西村修, 木村賢史: 水処理生物学会誌, **48** (1), 13 (2012).
- [4] 田中次郎: 東海大学海洋研究所研究報告, **11**, 113 (1991).
- [5] T. Naruse, T. Kosuge: Species Diversity, **13**, 117 (2008).
- [6] 瀬戸浩二, 川端幸子, 高津和人, 高安克己: LAGUNA (汽水域研究), **6**, 273 (1999).
- [7] 中川久夫, 土井宣夫, 白尾元理, 荒木裕: 東北大地質古生物研報, **84**, 1 (1982). [8] 姫野研一, 柳澤和博, 幸豊博, 中村靖: 分析化学, **33**, T43 (1984).
- [8] 小林純: 農学研究, **48**, 63-106 (1961).
- [9] 高嶋温子, 吉村和久, 栗崎弘輔, 井倉洋二, 高相徳志郎: 水環境学会誌, **30** (6), 325 (2007).
- [10] 柴田英昭: 地球環境, **9** (1), 75 (2004).
- [11] M. Ishiki, H. Sakihama, S. Agata, A. Tokuyama: Water air soil pollut. **198**, 111 (2009).
- [12] 高橋理恵, 遠藤太郎, 横山由香, 佐藤義夫, 安田訓啓, 福江正治, 澤本彰三: 東海大学紀要海洋学部, **9** (1), 1 (2011).
- [13] 平山光衛: “季刊化学総説陸水の化学” 日本化学会編, 学会出版センター, 1992.
- [14] 金城和俊, 渡嘉敷義浩, 鬼頭誠, 佐藤一紘, G.Y. Jayasinghe, F. Anugroho: 粘土科学, **47** (3), 114 (2008).
- [15] 大屋一弘, 藪押建治, 渡嘉敷義浩, 志茂守孝: 琉球大学農学部学術報告, **38**, 203 (1991).
- [16] 原宏: 日化, **11**, 733 (1997).
- [17] 東田盛善, 隈田昌良, 佐竹洋: 地球科学, **40**, 111 (2006).
- [18] 角皆静男, 品川高儀: 地球科学, **11**, 1 (1977).
- [19] 川村知裕, 原宏: 大気環境学会誌, **41** (6), 335 (2006).
- [20] 竹内丑雄: 地球科学, **14**, 30 (1980).