

八重山諸島近海におけるアオウミガメの餌と 生息環境中の元素濃度の解析について

森本康愛¹、能田 淳¹、亀田和成²、世良耕一郎³、鈴木一由¹

¹酪農学園大学獣医学群

069-0836 北海道江別市文京台緑町 569

²NPO 法人日本ウミガメ協議会附属黒島研究所

907-1311 沖縄県八重山郡竹富町黒島 136

³岩手医科大学サイクロトンセンター

020-0603 岩手県滝沢市留が森 348-58

1 序論

ウミガメは野生での個体数が減少傾向にあることから保全活動が行われている。アオウミガメの保全のためには、餌となる藻類が多く生産されている南日本の浅海域に注目すべきであるとされている¹。このため、今回は沖縄県南部にある八重山諸島の一つである黒島周辺を調査対象とした。アオウミガメは長寿であることから、体内に環境中の汚染物質を蓄積している可能性が高くバイオモニタリングの対象となりうると考えられる。これまでの測定などから、主に植食性である野生個体よりも魚肉を餌として与えられている水族館の飼育アオウミガメ個体において血漿中水銀濃度がより高いという報告がある²。アオウミガメの元素体内濃度には摂取物内の元素濃度が強く影響していることが示唆されているため、食餌（海草・藻）と水の元素濃度の測定を行った。

2 サンプルと分析方法

水サンプルは、2014年2月から2015年9月にかけて、礁池の海水、ウミガメの飼育に用いている井戸水（海水の混入あり）をそれぞれ総14サンプル採集した。サンプルは、元素類が水中に溶解した状態を保持するために、HNO₃濃度が0.1%になるようにEL（HNO₃61%）を添加し冷蔵保存したものを、PIXEで分析した。海草・藻は、水と同時期にウミガメの食痕が認められるところから採取し、DDWでの洗浄、デシケーター内での乾燥後、粉末化したものを、PIXEで分析した。サンプルの内訳は、緑藻類であるミル（写真1、サンプル数13）、アーサー（サンプル数1）、ヒトエグサ（サンプル数1）、紅藻類であるシマテングサ（写真2、サンプル数14）、多年草であるリュウキュウスガモ（写真3、サンプル数11）、アマモ（サンプル数2）であり、総数は42であった。



写真1：
ミル



写真2：
シマテングサ



写真3：
リュウキュウスガモ

なお、PIXE分析における測定条件は以下の通りであった。

- 1) ターゲットの作成：液体試料調製法（水サンプル）、硝酸灰化法（海草・藻サンプル）
その際の内部標準元素にはインジウムを用い、水サンプルには 10ppm、海草・藻サンプルには 1000ppm（乾燥重量）添加した。
- 2) ビームエネルギー：proton 2.9 MeV
- 3) ビーム電流：80-100 nA
- 4) 検出器 No.1 に装着した吸収体：500 μm Mylar（水に対しても、海草・藻に対しても共通）
- 5) 検出器 No.2：吸収体なしで Na~Ca までを測定

3 結果、考察

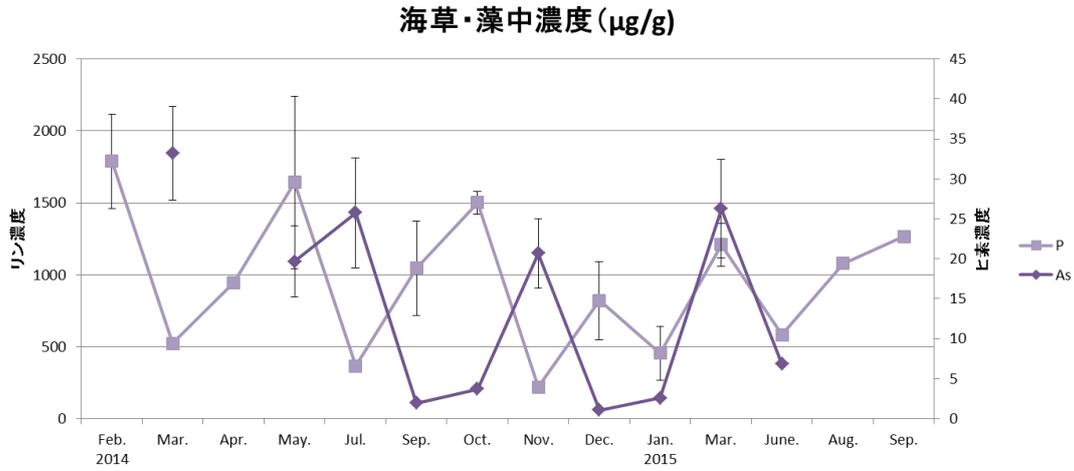
今回の測定で検出可能であった元素は、海草・藻サンプルから、アルミニウム (Al)、ヒ素 (As)、臭素 (Br)、カルシウム (Ca)、塩素 (Cl)、コバルト (Co)、クロム (Cr)、銅 (Cu)、鉄 (Fe)、ガリウム (Ga)、水銀 (Hg)、カリウム (K)、マグネシウム (Mg)、マンガン (Mn)、モリブデン (Mo)、ナトリウム (Na)、ニオブ (Nb)、ニッケル (Ni)、リン (P)、鉛 (Pb)、ルビジウム (Rb)、硫黄 (S)、セレン (Se)、ケイ素 (Si)、ストロンチウム (Sr)、チタン (Ti)、バナジウム (V)、イットリウム (Y)、亜鉛 (Zn)、ジルコニウム (Zr) の 30 種、水サンプルからは、これにセシウム (Cs) を加えた 31 種であった。これらのなかから、他元素や水サンプル、海草・藻サンプル中の濃度に相関がみられた元素について 3.1 から 3.3 に、その他元素濃度に影響すると考えられる環境性因子について 3.4 に述べた。

3.1 リン、ヒ素について

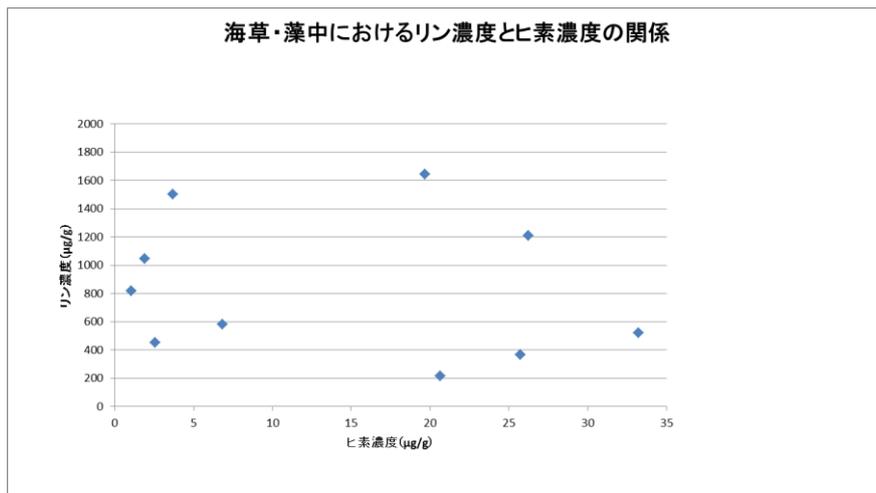
海草・藻中濃度について、2014年5月にリン濃度が上昇したのち、7月にヒ素濃度の上昇がみられた。同様に、10月のリン濃度上昇後、11月にヒ素濃度が上昇した。また、2015年3月には、両元素の上昇ピークが重なった(グラフ 1a)。しかし、リン濃度とヒ素濃度に直線的関係はほとんどなかった(決定係数: $R^2=0.0312$ 、グラフ 1b)。

今回は採集月ごとに測定結果をまとめたが、生長の著しい部分にヒ素が多く含まれている³ため、各海草・藻の生長時期や部位が海草・藻中濃度の測定結果に影響を与えたと考えられる。また、リン酸塩とヒ素塩は化学的な構造が類似しており、海棲生物のなかにおそらく同じ仕組みで取り込まれている⁴報告があることより、今回の海水サンプル中のこれらの元素濃度は検出限界値以下ではあったが、体内への元素の取り込みのメカニズムも海草・藻中濃度を変化させた因子として考えられる。

さらに、海草・藻中の濃度変化に伴いウミガメの元素摂取濃度も時期によって一律ではないと考えられるが、血漿中濃度に季節(冬、夏)による有意差はみられなかった⁵ため、これらの濃度は恒常性に影響を与えるほど高くなかったか、恒常性の働きにより一定に保たれていることが示唆される。



グラフ 1a : 海草・藻中のリン濃度とヒ素濃度の関係



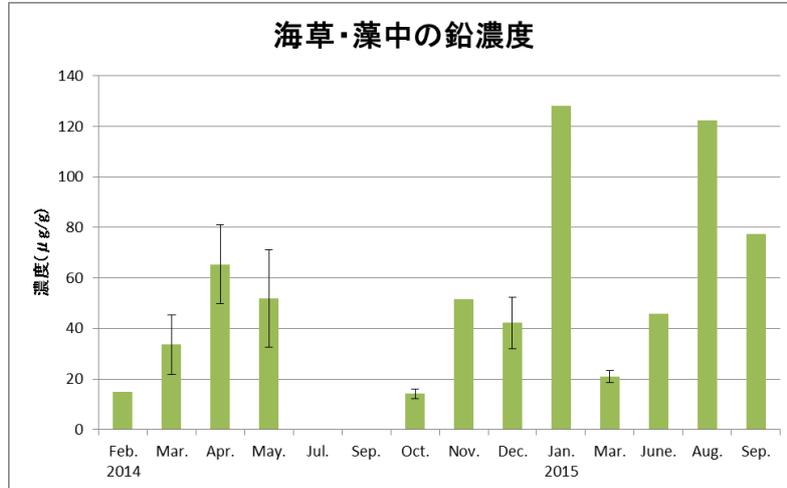
グラフ 1b : 海草・藻中のリン濃度とヒ素濃度の関係

3.2 鉛について

鉛は、地球化学的な風化作用で海洋に流れ込むほか、産業活動や化石燃料の燃焼などによって大気圏に放出された場合も海洋中に取り込まれるため、環境への影響が懸念されている元素のひとつである⁶。

今回の測定で海水から鉛が検出された時期は少なかった(2015年7月と9月のみ)。鉛は採水時⁶を含め、測定までの過程での汚染が問題となりやすいため、測定結果については検討が必要であると考えられる。しかし表層海水中の鉛は大気起源のものが最も多いと言われている⁶ことから、今回検出された鉛も大気由来のものが大部分を占めていたと考えられる。

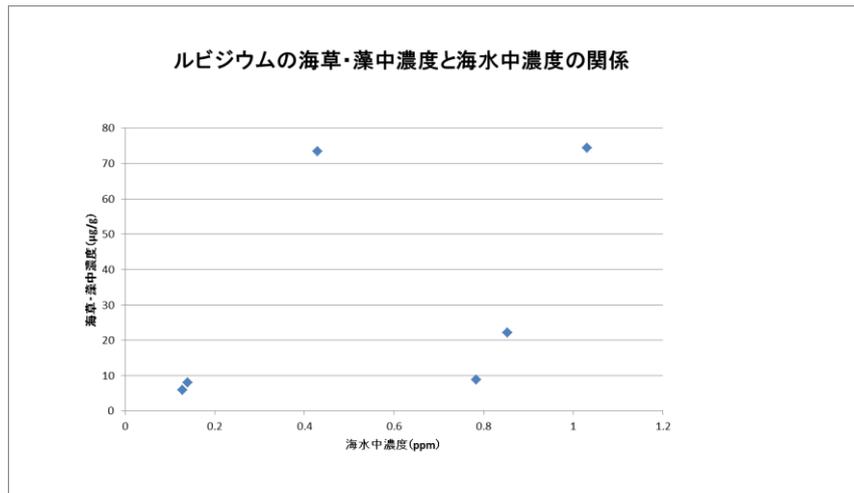
さらに、海草・藻からは複数月で検出された（グラフ 2）ことについては、2013 年度に沖縄西方沖で行われた底質調査で廃棄物等の海洋投入処分による汚染は認められなかった⁷ため、海草・藻中の鉛濃度は、人工物ではなく海水中濃度の影響を受けたものであると示唆される。



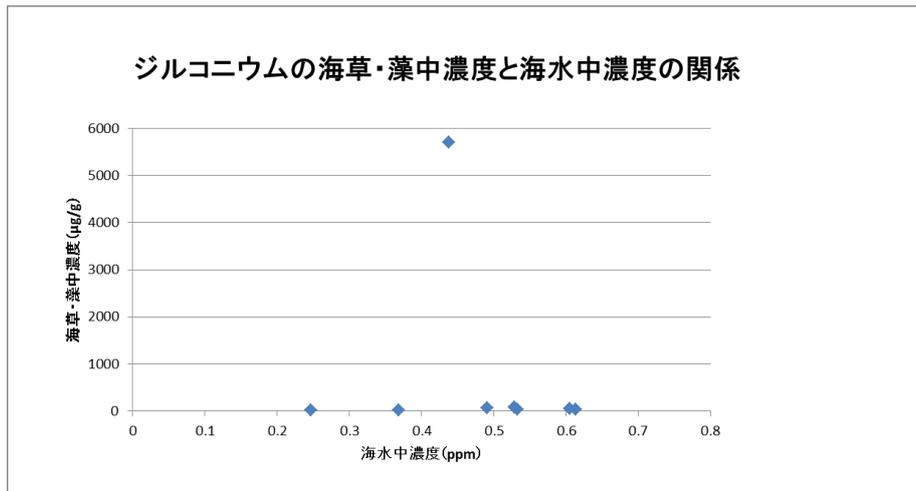
グラフ 2 : 海草・藻中の鉛濃度

3.3 ルビジウム、ジルコニウムについて

ルビジウムについて、海草・藻中濃度と海水中濃度に中程度の正の直線的関係がみられた（グラフ 3a、 $R^2=0.195$ ）。同様にジルコニウムについては、弱い負の直線的関係がみられた（グラフ 3b、 $R^2=-0.13$ ）。このことより、これらの元素の海草・藻中濃度は海水からの取り込みや排出に関係があると考えられる。しかし、アオウミガメの肝臓、腎臓、筋肉中において、ルビジウム、ジルコニウムの濃度差はわずかであった⁸ため、アオウミガメが海草・藻、水を介してこれらの元素を摂取しても、特定の臓器には蓄積しないことが示唆された。



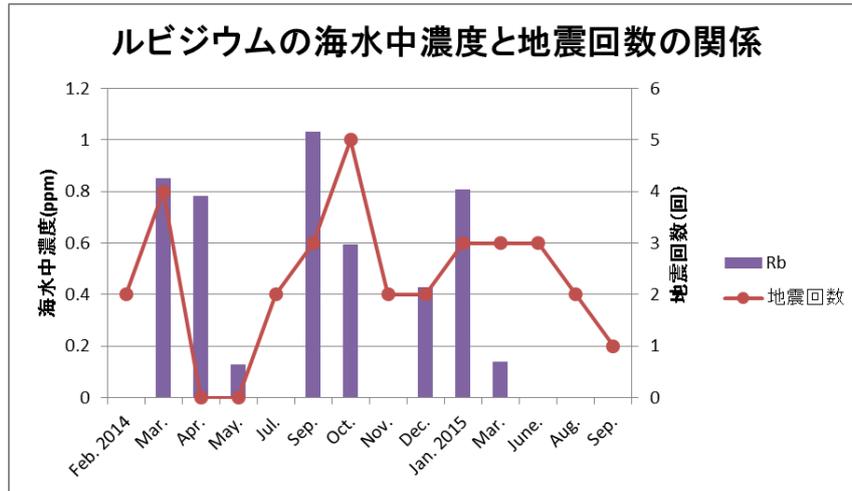
グラフ 3a : ルビジウムの海草・藻中濃度と海水中濃度の関係



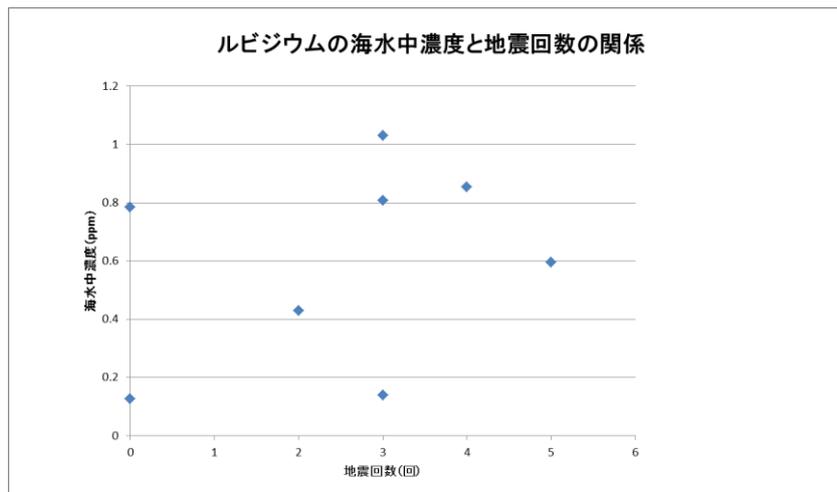
グラフ 3b : ジルコニウムの海草・藻中濃度と海水中濃度の関係

また、これらの元素は一般的に地殻中に多く含まれている⁹（ルビジウム：80ppm程度、ジルコニウム：200ppm程度）こと、地下水において岩盤の相互作用により地震時に濃度上昇がみられる元素が報告されている¹⁰ことから、海水中濃度と地震回数の関係を調べた。沖縄本島近海を震源地とする地震回数¹¹は、2014年3月に4回、4、5月は0回であり、その後10月まで徐々に増加（5回）し、11月に減少した（サンプル採集期間の平均は約2.3回）。

ルビジウム濃度は2014年3月から5月にかけて低下し、9月に上昇した後11月にかけて再び低下した。2014年12月と2015年1月には、地震回数、ルビジウム濃度ともに増加した（グラフ4a）。さらに、ルビジウム濃度と地震回数には弱い正の直線的関係（ $R^2=0.0913$ ）が認められた（グラフ4b）。

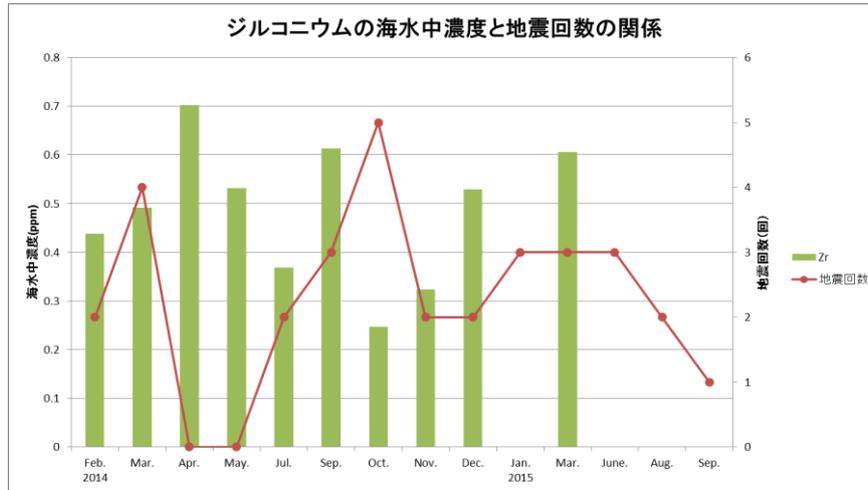


グラフ 4a : ルビジウムの海水中濃度と地震回数の関係

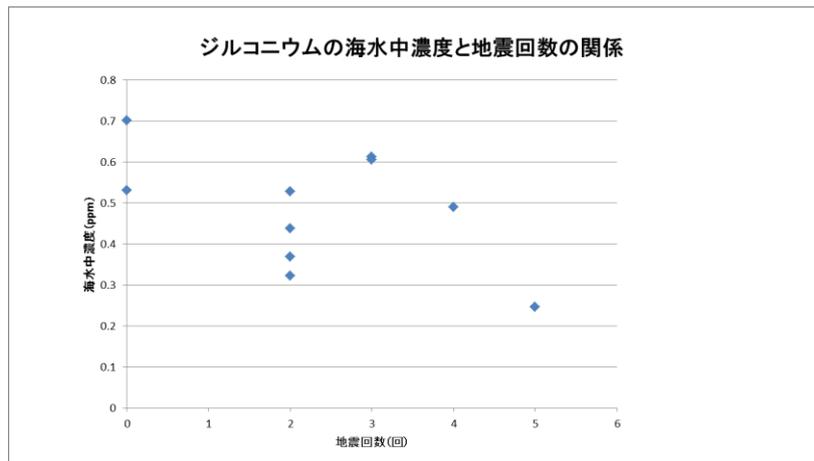


グラフ 4b : ルビジウムの海水中濃度と地震回数の関係

同様にジルコニウムについて、地震は2014年3月と10月に特に多く観測され、ジルコニウム濃度は4月と9月に高くなっていた。また、7月から9月にかけての地震回数、ジルコニウム濃度と、11月から12月にかけての地震回数、12月から2015年1月にかけてのジルコニウム濃度がともに増加傾向であったが、ジルコニウム濃度が最高であった4月には地震はなく、地震回数が最多であった10月に検出されたジルコニウム濃度は最も低かった(グラフ4c)。さらに、ジルコニウム濃度と地震回数には弱い負の直線的関係($R^2=0.02408$)が認められた(グラフ4d)。



グラフ 4c : ジルコニウムの海水中濃度と地震回数の関係



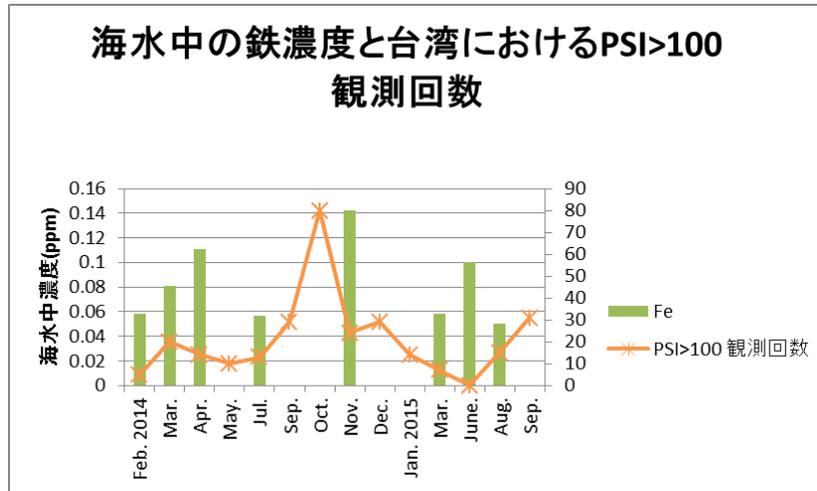
グラフ 4d : ジルコニウムの海水中濃度と地震回数の関係

3.4 その他元素濃度に影響すると考えられる環境性因子について

海水中、海草・藻中の元素濃度に影響を与えると考えられる因子の一例としてエアロゾル¹²がある。これは、ガス成分から生成される硫酸塩、風による巻き上げで発生する海塩、黄砂、化石燃料などの燃焼による煤など、大気中に浮遊する微粒子のことで、直接降下のほか、日射や雲の性質を変化させることで気候に影響を与える。沖縄県八重山諸島に近い台湾では黄砂のみによる影響は小さいものの、その他の浮遊物質と共に大気の質を低下させる原因となっている¹³。2014、2015年に沖縄地方で黄砂は観測されなかった^{14,15}が、黒島、石垣島の現地住人から黄砂の飛来が確認されており、東アジアを経由する低気圧の通過に伴っていずれ沖縄でも観測されると予想される。

黄砂は、気候だけでなく、内部に含まれる鉄分が海洋表面に沈着した際にプランクトンの微量栄養源とな

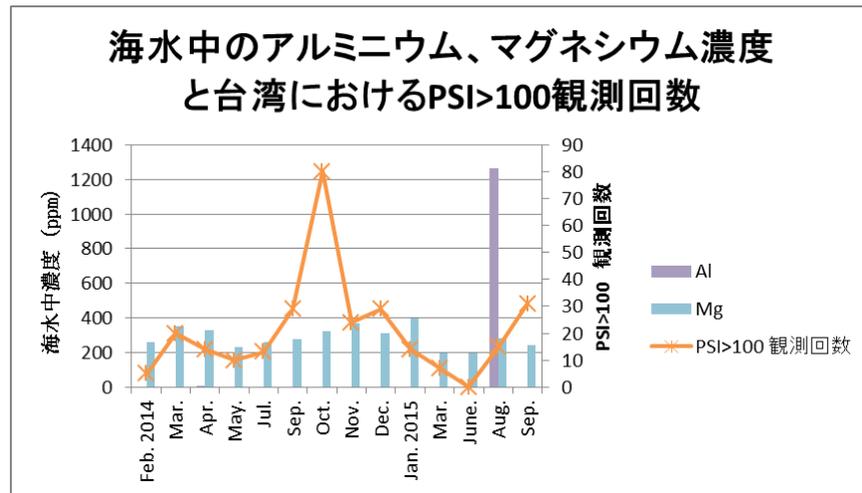
り、海洋表面のバイオマス分布に影響を与えると考えられている¹⁶。今回測定した海草・藻中の鉄濃度の変動と台湾で PSI (Pollutant Standards Index: 大気汚染指数) が 100 (軽度汚染以上と評価される基準値¹⁷) より高かった時期¹⁸(PSI>100 観測回数)はほとんど相関がなかった(相関係数: $r=-0.13$) が、海水中濃度は PSI>100 観測回数と弱い相関を示した($r=0.39$ 、グラフ 5a)。



グラフ 5a : 海水中の鉄濃度と台湾における PSI>100 観測回数の関係

また、鉄以外で黄砂に含まれる元素はアルミニウム、カルシウム、マグネシウム、マンガンである¹⁹が、このうちアルミニウムとマグネシウムの海水中濃度は鉄同様、PSI>100 観測回数と相関を示した(アルミニウム $r=1$ 、マグネシウム $r=0.33$ 、グラフ 5b)が、いずれも海草・藻との相関は強く認められなかった($r<0.3$)。今回の測定でアルミニウムが検出された月は2回のみ(2014年4月と2015年8月)であったため相関係数の信頼性は低い、アルミニウムが検出されたことからPSIを高値にした要因に黄砂をはじめ砂由来の成分が含まれていた可能性がある。

したがって、鉄、アルミニウム、マグネシウムについて、海草・藻が海水から元素を取り込むには一定の時間を要することが考えられるため、今後海草・藻中の濃度が上昇する可能性が考えられる。



グラフ 5b : 海水中のアルミニウム、マグネシウム濃度と台湾における PSI>100 観測回数の関係

4 結論と今後の展望

今回測定を行った海草・藻中の元素濃度の動向は、他の元素濃度や水中濃度などと関連していた。

さらにこれらの濃度の増減には環境的な因子も原因となっており、特に海水中濃度と地震回数や大気浮遊物質との関係が示唆された。黄砂の観測結果は年々変動が大きく長期的な傾向は明瞭ではない²⁰など、環境性因子は一定の動向を示さないため、長期的な観測を続けることで、今後、海水、海草・藻との関連が分かり、ウミガメが外部から受ける影響がより明らかになると考える。

文献

- 1) 亀崎直樹 (2006) 「ウミガメ類の保全と日本の立場」 第 4 回生物多様性国家戦略の見直しに関する懇談会資料
- 2) Shoko Kameda(2012)、Investigation of trace element concentration in wild and captive sea turtles in Okinawa、酪農学園大学研究成果発表会
- 3) 野田宏之ほか (1983) 「海草の生化学と利用」 (水産学シリーズ<45>) 恒星社厚生閣 p.29
- 4) Michael E. Q. Pilson、Arsenate uptake and reduction by *Pocillopora verrucosa*、Graduate School of Oceanography、1973
- 5) 小西奈菜子 (2016) 「ウミガメ血液の多元素同時定性定量 (PIXE) 法による生体/海洋保全評価」 第 22 回 NMCC 共同利用研究成果発表会
- 6) 環境省 「D-2.海洋汚染物質の海洋生態系への取り込み、生物濃縮と物質循環に関する研究」
<https://www.env.go.jp/earth/suishinhi/wise/j/pdf/J94D0211.pdf> (2016/7/14 閲覧)
- 7) 環境省 「平成 25 年度海洋環境モニタリング調査結果について (概要)」
<https://www.env.go.jp/press/files/jp/25410.pdf> (2016/7/14 閲覧)
- 8) Yasumi Anan(2001) TRACE ELEMENT ACCUMULATION IN HAWKSBILL TURTLES (*ERETMOCHELYS IMBRICATA*) AND GREEN SEA TURTLES(*CHELONIA MYDAS*) FROM YAEYAMA ISLANDS, JAPAN. Environmental Toxicology and Chemistry, Vol.20, No.12, pp.2802-2814

- 9) ウィキペディア「地殻中の元素の存在度」
<https://ja.wikipedia.org/wiki/地殻中の元素の存在度> (2016/06/13 閲覧)
- 10) Alasdair Skelton(2014) Changes in ground water chemistry before two consecutive magnitude >5 earthquakes in Iceland, King Abdullah University of Science and Technology
- 11) 日本気象協会「沖縄本島近海を震源とする地震情報」 <http://www.tenki.jp/> (2016/06/15 閲覧)
- 12) 気象庁「エーロゾルについて」
<http://www.data.jma.go.jp/gmd/env/aerosolhp/aeroinfo.html> (2016/06/20 閲覧)
- 13) Environmental Protection Administration「Dust Storm」
<http://taqm.epa.gov.tw/taqm/en/b0301.aspx> (2016/07/06 閲覧)
- 14) 気象庁「2014年黄砂観測日および観測地点の表」
http://www.data.jma.go.jp/gmd/env/kosahp/kosa_table_2014.html (2016/06/20 閲覧)
- 15) 気象庁「2015年黄砂観測日および観測地点の表」
http://www.data.jma.go.jp/gmd/env/kosahp/kosa_table_2015.html (2016/06/20 閲覧)
- 16) 気象庁「異常気象レポート2005」
http://www.data.jma.go.jp/cpdinfo/climate_change/2015/pdf/2005_3-2.pdf (2016/06/20 閲覧)
- 17) 在中国日本国大使館「北京市内の大気汚染について」
http://www.cn.emb-japan.go.jp/consular_j/joho120217_j.htm (2016/07/07 閲覧)
- 18) Environmental Protection Administration「Monthly Report for PSI>100」
<http://taqm.epa.gov.tw/taqm/en/PSIOver100MonthlyReport.aspx> (2016/07/06 閲覧)
- 19) Environmental Protection Administration「Impact To Taiwan」
<http://taqm.epa.gov.tw/taqm/en/b0306.aspx> (2016/07/06 閲覧)
- 20) 気象庁「黄砂観測日数の経年変化」
http://www.data.jma.go.jp/gmd/env/kosahp/kosa_shindan.html (2016/06/20 閲覧)

The analysis results of elements concentration in green sea turtles around Yaeyama islands and their habitat

Y. Morimoto¹, J. Noda¹, K. Kameda², K. Sera³ and K. Suzuki¹

¹Veterinary medicine, Rakuno Gakuen University
569 Bunkyo-dai Midorimachi, Ebetsu, Hokkaido 069-0836, Japan

²Kuroshima Research Station, Sea Turtle Association of Japan
136 Kuroshima, Taketomi, Yaeyama District, Okinawa 907-1311, Japan

³Cyclotron Research Center, Iwate Medical University
348-58 Tomegamori, Takizawa, Iwate 020-0603, Japan

Abstract

The ecological behavior of wild sea turtles has many unknown parts. They are under the conservation programs due to the population decrease. Green sea turtles are suspected to accumulate environmental pollutants in their body, thus this species is a candidate for biomonitoring. Shallow sea bottom with abundant sea plants and sea weeds are favorable habitat for the green sea turtles in south part of Okinawa, Japan. In this study, we collected samples from Kuroshima, where is a part of Yaeyama islands, southern Okinawa. We have determined food and water samples from the sea turtle habitat ecosystem to multi element analyze by PIXE. The results indicated that element concentrations in sea turtles are possibly affected by their feed contents. Further monitoring may be able to understand variation of environmental changes and effects to sea turtles in more comprehensive manner.