

## 科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 27 年 6 月 10 日現在

機関番号：82111

研究種目：若手研究(B)

研究期間：2012～2014

課題番号：24710018

研究課題名(和文)ワカメの安定同位体比・微量元素組成による東日本大震災の三陸沿岸生態系への影響解析

研究課題名(英文)The effect on the ecological characteristics before and after the earthquake in Sanriku littoral zone using stable isotope and trace elements analysis of seaweeds

研究代表者

鈴木 彌生子 (Suzuki, Yaeko)

独立行政法人農業・食品産業技術総合研究機構・食品総合研究所・食品分析研究領域・研究員

研究者番号：00515059

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,300,000円

研究成果の概要(和文)：2011年から2013年の3年間に収集したワカメを指標とし、炭素・窒素同位体比および12元素(Mg・P・Ca・V・Mn・Fe・Zn・As・Rb・Sr・Cd・Ba)の濃度を分析することにより、震災前後の元素濃度の変化をモニタリングし、生態系への影響評価を行った。また、鳴門・中国・韓国においてもワカメを収集し、地域間差について比較を行った。震災前後において、三陸における炭素・窒素同位体比および12元素濃度に有意な変動は見られなかった。中国産では一部の試料で年次変動が見られた。地域間差においては有意差が見られ、三陸・鳴門・中国および韓国の4群に判別が可能であることが分かった。

研究成果の概要(英文)：We determined the carbon and nitrogen isotopic ratios and the concentrations of 12 elements (Mg, P, Ca, V, Mn, Fe, Zn, As, Rb, Sr, Cd, Ba) in seaweeds from Japan (Sanriku and Naruto), China, and South Korea to compare the ecological characteristics in each area. In addition, we collected seaweeds in the same area from 2011 to 2013 and evaluated interannual variations of their stable-isotope ratio and trace-element. The wakame seaweeds from Sanriku, the coastline along northeast Japan, had relatively lower concentrations of all elements. Although the Sanriku area was damaged by the tsunami caused by the massive earthquake on March 11, 2011, there was no significant difference in the stable isotope values and trace element compositions of Sanriku seaweeds before and after the earthquake. On the basis of the carbon and nitrogen isotopic ratios along with the concentrations of the 12 elements, the wakame seaweeds were divided into four groups: Sanriku, Naruto, China, and South Korea.

研究分野：環境動態解析

キーワード：安定同位体比 微量元素分析 ワカメ

### 1. 研究開始当初の背景

2011年3月11日に発生した東日本大震災により、三陸沿岸では、水質・底質への影響による生物生息環境の変化が懸念される。豊かな三陸沿岸の生態系を支える生元素・微量元素組成も大きく変化していると推測される。本研究では、三陸沿岸の主要産物であるワカメを指標とし、震災前後に収集されたワカメについて、炭素・窒素同位体比および12元素(Mg・P・Ca・V・Mn・Fe・Zn・As・Rb・Sr・Cd・Ba)を分析することにより、震災前後の元素組成の変化をモニタリングし、生態系への影響評価を行った。また、同様に鳴門・中国・韓国においてもワカメを収集し、地域間差についても比較を行った。

### 2. 研究の目的

一般的に、水界生態系において、一次生産者の炭素・窒素同位体比は、生育環境中の栄養塩の濃度やそれらの炭素・窒素同位体比、光合成時の環境(成長速度)などの影響を反映する。とくに、沿岸域の一次生産者の安定同位体比は、河川などによって流入する陸由来の有機物や人間活動由来の有機物の影響を受けやすい。また、微量元素組成についても、海水中の成分を反映すると考えられる。よって、固着性の藻類であるワカメの炭素・窒素同位体比および微量元素組成は、その生育環境を反映し、環境の変化や地域の違いによって変動すると考えられる。本研究では、日本の食材としても価値の高いワカメについて、震災前の2011年に収集したワカメと震災後の2012年および2013年収集したワカメについて、炭素・窒素同位体比と12元素(Mg・P・Ca・V・Mn・Fe・Zn・As・Rb・Sr・Cd・Ba)の微量元素組成を分析し、比較を行った。

### 3. 研究の方法

2011年から2013年において、浜単位で素性の明確な原藻ワカメを収集した。三陸産72検体、鳴門産136検体、中国産90検体、韓国産36検体を収集した。

主食部であるワカメの葉体部分を分析対象とした。各検体は、セラミックス製の包丁を用いて細かく切った後、定温乾燥機にて105°Cで10時間乾燥させ、セラミックス製のミルを用いて粉末化した。

粉碎試料を錫箔に秤量後、元素分析計を接続した同位体比質量分析計を用いて炭素・窒素同位体比を分析した。炭素・窒素同位体比は、標準試料からの千分偏差で表した。これらは  $\delta X = (R_{\text{試料}}/R_{\text{標準}} - 1) \times 1000$  によって、 $\delta$ 値として表記した。Xは、炭素、窒素に対して、それぞれ $^{13}\text{C}$ 、 $^{15}\text{N}$ を表し、Rはそれぞれの元素の同位体比 $^{13}\text{C}/^{12}\text{C}$ 、 $^{15}\text{N}/^{14}\text{N}$ である。標準試料として、炭素ではPeeDee層のヤイシ類の化石(VPDB)、窒素は大気(Air)を用いた。

粉碎試料をマイクロ波により湿式分解後、

誘導結合プラズマ質量分析計(ICP-MS)を用いて、12元素組成(Mg, P, Ca, V, Mn, Fe, Zn, As, Rb, Sr, Cd, Ba)を測定した。12元素については、添加回収試験により、分析の妥当性を確認した。検出限界については、ブランク試験測定値の標準偏差の3倍とした。定量においては、環境組成標準物質としてひじき粉末(独立行政法人産業技術総合研究所: 7405-a)を使用し、測定結果と認証値の差は95%信頼区間で有意差がないことを確認した。

データの統計処理については、IBM SPSS Statisticsを用いて解析を行った。正準判別分析のステップワイズ法を用いて分析を行い、判別に寄与する安定同位体比および元素を選択した。構築した判別式の有効性を検証するために、Leave-one-out cross validation法を用いて、判別モデルの検証を行った。

### 4. 研究成果

#### (1)炭素・窒素同位体比について

3年間の三陸産のワカメの炭素・窒素同位体比は、 $-17.0 \pm 1.6\text{‰}$ (平均値 $\pm$ 標準偏差)、 $2.5 \pm 2.1\text{‰}$ であった。年度ごとには、2011年は $-16.7 \pm 1.3\text{‰}$ 、 $2.2 \pm 0.9\text{‰}$ 、2012年は $-16.5 \pm 1.7\text{‰}$ 、 $1.9 \pm 2.2\text{‰}$ 、2013年は $-17.6 \pm 1.3\text{‰}$ 、 $3.1 \pm 1.9\text{‰}$ であった。3年間のワカメ試料において、炭素・窒素同位体比に有意な変動は見られなかった。

原藻ワカメの炭素・窒素同位体比は、三陸産は $-17.0 \pm 1.6\text{‰}$ (平均値 $\pm$ 標準偏差)、 $2.5 \pm 2.1\text{‰}$ 、鳴門産は $-16.8 \pm 1.4\text{‰}$ 、 $10.6 \pm 1.4\text{‰}$ 、中国産は $-17.3 \pm 1.3\text{‰}$ 、 $4.0 \pm 1.6\text{‰}$ 、韓国産は $-15.4 \pm 1.6\text{‰}$ 、 $4.4 \pm 1.3\text{‰}$ であった。各地域において、収穫年度で炭素・窒素同位体比を比較した結果、3年間のワカメ試料において、炭素・窒素同位体比に有意な変動は見られなかった(図1)。ただし、一部の中国産については、2011年(図1a)では、窒素同位体比が高い傾向が見られたが、2012年(図1b)・2013年(図1c)では同様の傾向は見られなかった。地域差を比較すると、炭素同位体比においては、韓国産が他の3地域よりも有意に高い傾向が得られ、窒素同位体比においては、鳴門産が他の3地域よりも有意に高い傾向が得られた。

一般的に、水界生態系において、一次生産者の炭素・窒素同位体比は、生育環境中の無機炭素・無機窒素の濃度やそれらの炭素・窒素同位体比、光合成時の環境(成長速度)などの影響を反映する<sup>1)</sup>。とくに、沿岸域の一次生産者の安定同位体比は、河川などによって流入する陸由来の有機物や人間活動由来の有機物の影響を受けやすい。一般的には、陸由来の有機物は炭素・窒素同位体比ともに低い傾向を示すことから、それらの寄与が大きいほど、水界生態系における一次生産者の炭素・窒素同位体比も低下する。一方で、人間活動由来の有機物は炭素・窒素同位

体比が高いことから、一次生産者の窒素同位体比が高くなることも報告されている。よって、固着性の藻類であるワカメの炭素・窒素同位体比は、その生育環境を反映し、地域によって変動すると考えられる。広島湾の窒素同位体比が高いことについては、高井らは陸域から流入する人間活動由来の炭素・窒素同位体比の高い有機物の影響が強いと考察している<sup>2</sup>。よって、鳴門産の窒素同位体比がその他の地域よりも有意に高い値を示すのは、瀬戸内海へ流入する陸域からの人間活動由来有機物が海域の食物連鎖に大きく寄与している可能性を示唆している。

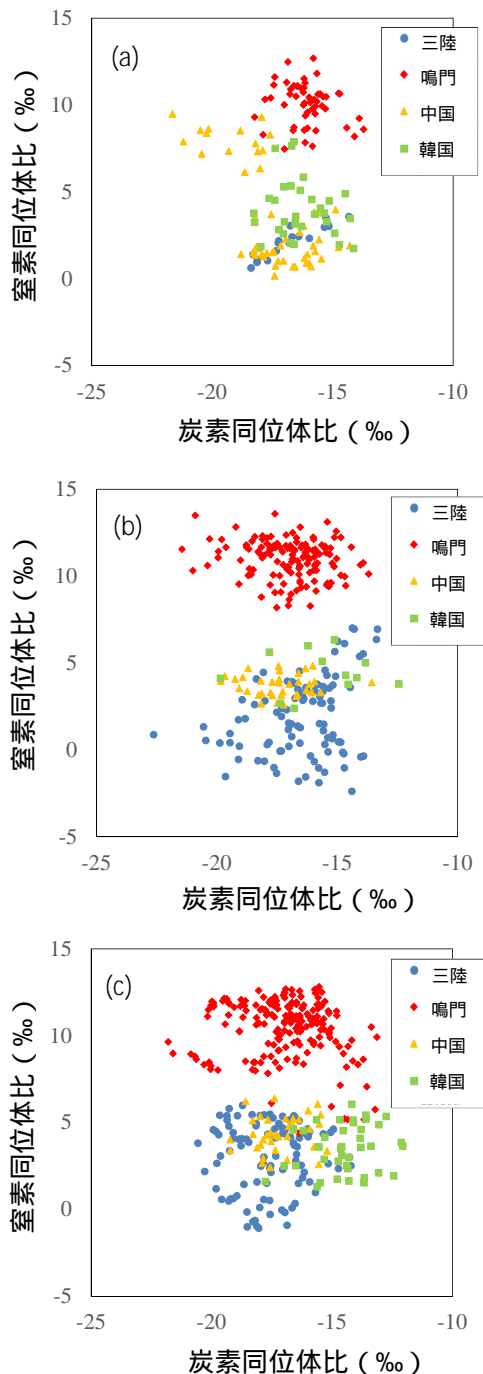


図1 三陸・鳴門・中国・韓国産ワカメの炭素・窒素同位体比分布(a)2011年、(b)2012年、

(c)2013年

三陸では、内湾に位置する浜で収集されたワカメについては、三陸産の中でも炭素・窒素同位体比が比較的高く、炭素同位体比は、 $-16.6 \pm 1.6\text{‰}$ 、窒素同位体比は  $4.5 \pm 1.1\text{‰}$  となり、三陸の平均値 ( $-17.0 \pm 1.6\text{‰}$ 、 $2.5 \pm 2.1\text{‰}$ ) よりも高い傾向が得られた。これらの地域差は、外海域と内湾海域間で陸起源有機物の影響強度が異なり、ワカメの生育環境の違いを反映しているとみられる。

### (2) 微量元素組成について

2011年から2013年産のワカメについて12元素の組成を比較した。3年間を通して、中国では一部の元素で年次変化による微量元素濃度の変動が見られたが、地域差の方が大きいことが分かった。とくに、三陸地域においては、炭素・窒素同位体比および微量元素組成においても有意差が見られなかった。

3年間に共通して、各地域では以下のような傾向が得られた。

(i) 三陸産は全体的に他の地域よりも濃度が低く、とくに Mn・Fe・Zn・Ba は他の3地域よりも低い。

(ii) 鳴門産は Mg・Cd 濃度が他の3地域よりも低い。

(iii) 中国産は全体的に濃度が高く、とくに P・Zn・Ba 濃度が高い。

(iv) 韓国産は V・Mn 濃度が高い。

生長したワカメには中央に太い偏円状の莖状部(中助)があり、その左右に羽状裂片の葉(葉体)を持つ。根(仮根)は葉体を固定する役割のみで、栄養分を吸収する働きはなく、葉体で栄養分の吸収などを行う。そのため、葉体中の微量元素組成は海水中の成分を吸収すると考えられる<sup>3</sup>。外洋域の海水のミネラル組成は比較的一定であるが、陸域からの流入に伴い、沿岸部では地域により大きく異なる。湾にはそれぞれ異なった河川からの流入があり、それらの違いによる湾の環境特性が見られると考えられる<sup>4</sup>。大越らは国産および韓国産マガキについて微量元素組成を報告している。マガキは主に内湾で養殖され、流域に鉱山や工場があれば、それらに特有な元素や成分がカキに蓄積される<sup>5</sup>。以上より、ワカメにおいても各湾に流入する成分の違いなども含めて生育環境の海水中の微量元素組成が異なることを反映していると考えられる。

### (3) 安定同位体比および微量元素組成を用いた判別分析について

炭素・窒素同位体比分析に、12元素(Mg・P・Ca・V・Mn・Fe・Zn・As・Rb・Sr・Cd・

Ba)の組成を組み合わせ、三陸・鳴門・中国・韓国の4地域について、正準判別分析を行った。ステップワイズ法によって、PとFeが削除され、炭素・窒素同位体比と10元素(Mg・Ca・V・Mn・Zn・As・Rb・Sr・Cd・Ba)が有効であると選択された。安定同位体比および微量元素組成の結果を組み合わせ、判別分析した結果を図2に示す。震災前の2011年と震災後の2012年・2013年で比較すると、三陸・鳴門・中国および韓国の4群に分かれ、震災前後で判別率に有意な変動は見られなかった。

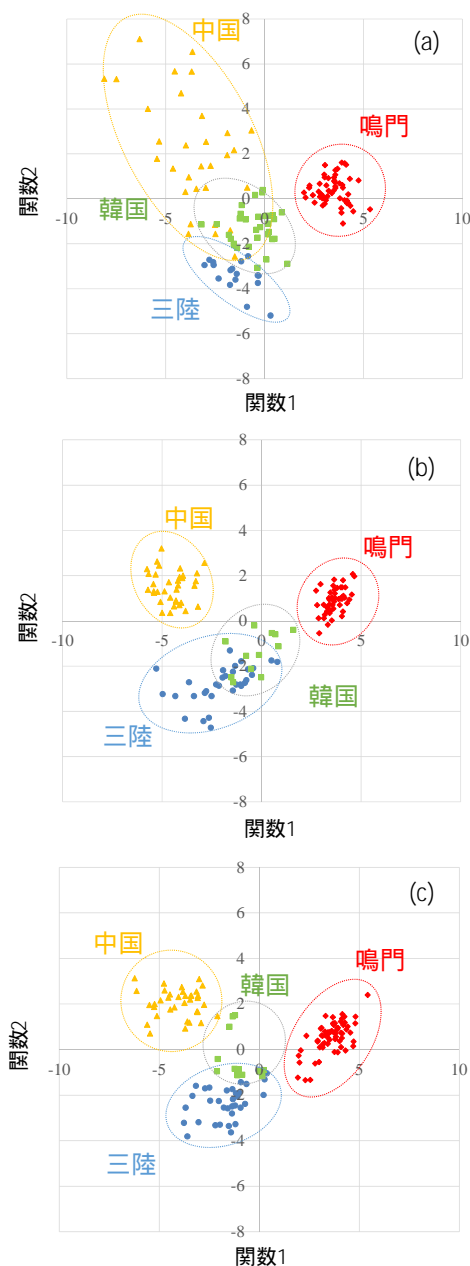


図2 三陸産・鳴門産・中国産・韓国産ワカメの安定同位体比および微量元素組成による正準判別関数1および関数2の判別得点分布 (a)2011年、(b)2012年、(c)2013年

以上より、震災前後において、炭素・窒素同位体比および12元素(Mg・P・Ca・V・

Mn・Fe・Zn・As・Rb・Sr・Cd・Ba)の組成を比較した結果、三陸では、有意な変動は見られなかった。地域間差を見ると、中国産では一部の試料で年次変動が見られたが、平均するとすべての地域においても有意な変動は見られず、地域間差が有意に得られることが示された。これらの結果は、海域の元素組成の変化をモニタリングするのみならず、地域間差が見られたことから産地判別への基礎データとしても有用であると考えられる。

#### <引用文献>

Anderson W.T., Fourqurean J.W., Intra- and interannual variability in seagrass carbon and nitrogen stable isotopes from south Florida, a preliminary study. *Org. Geochem.*, 34, 2003, 185-194

高井則之、星加章、今村賢太郎、萬明美、谷本照巳、三島康史、広島湾における海藻の炭素・窒素安定同位体比の分布特性、日本生態学会誌、51、2001、177-1919

西澤 一俊、新わかめ入門 (食品知識ミニブックスシリーズ) 日本食糧新聞社

大越 健嗣:海のミネラル学 生物との関わりと利用、成山堂書店 (2007)

#### 5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文](計2件)

鈴木 彌生子、國分 敦子、絵面 智宏、中山 和美、湯通し塩蔵ワカメの安定同位体比分析および微量元素組成の年次変化および産地判別の可能性、分析化学、査読有、63巻、2014、619 - 623

<http://doi.org/10.2116/bunsekikagaku.63.619>

鈴木 彌生子、國分 敦子、絵面 智宏、中山 和美、安定同位体比分析および微量元素分析による湯通し塩蔵ワカメの産地判別、日本食品科学工学会誌、査読有、61巻、2014、134 - 138

DOI: 10.3136/nskkk.61.134

[学会発表](計7件)

Yaeko Suzuki, Atsuko Kokubun, Tomohiro Edura, Stable Isotope Ratios and Trace Elements compositions in seaweeds (*Undaria pinnatifida*) from Japan, China, and Korea: Interannual variations between 2011 and 2013, The 9th International Conference on Applications of Stable Isotope Techniques to Ecological Studies,

2014年08月05日、オーストラリア（パース）

鈴木 彌生子、國分 敦子、絵面 智宏、中山 和美、安定同位体比分析および微量元素分析による湯通し塩蔵ワカメの産地判別の可能性、日本食品科学工学会第60回大会、2013年08月31日、実践女子大学（東京）

Yaeko Suzuki, Atsuko Kokubun, Tomohiro Edura, Kazumi Nakayama, Spatial Distribution of Stable Isotope Ratios and Trace Elements compositions in Wakame Seaweeds (*Undaria pinnatifida*) from China, Japan (Sanriku and Naruto) and South Korea, The 11th International INTECOL Congress, Ecology, 2013年08月22日、イギリス（ロンドン）

Yaeko Suzuki, Rumiko Nakashita, Interlaboratory comparison of organic materials for carbon, nitrogen, and oxygen isotope ratios using EA-IRMS system, The 11th International Mammalogical Congress 2013, 2013年08月12日、イギリス（ベルファースト）

鈴木 彌生子、國分 敦子、絵面 智宏、中山 和美、日本（三陸・鳴門）・中国・韓国に生育するワカメの安定同位体比・微量元素組成の挙動解析、日本生態学会第60回大会、2013年03月07日、静岡県コンベンションアーツセンター（静岡）

鈴木 彌生子、國分 敦子、絵面 智宏、中山 和美、安定同位体比分析による国産・中国産および韓国産湯通し塩蔵ワカメの産地判別、日本食品科学工学会第59回大会、2012年08月30日、藤女子大学（北海道）

Yaeko Suzuki, Rumiko Nakashita, Takeshi Shimizu, Takumi Takamura, The spatial and seasonal variations in the carbon, nitrogen and oxygen isotope values of kelp over three years in China, Japan and South Korea, The 8th International Conference on Applications of Stable Isotope Techniques to Ecological Studies, 2012年08月21日、フランス（プレスト）

## 6. 研究組織

### (1) 研究代表者

鈴木 彌生子 (SUZUKI, Yaeko)

独立行政法人農業・食品産業技術総合研究機構・食品総合研究所・食品分析研究領域・研究員

研究者番号：00515059