

東日本大震災による津波が松川浦(福島県相馬市)の生物多様性に与えた影響の評価と環境回復に関する研究

富川 光

広島大学大学院教育学研究科

概要 松川浦は、福島県相馬市の太平洋沿岸に位置する潟湖である。海水と淡水が入り混じる汽水環境であり、特有の生物相が形成されている。松川浦は、沿岸漁業において重要なカレイ類などの生育場としても重要な役割を担っている。また、明治時代まで製塩事業が行われており、近年では自然観察や潮干狩りなどのレクリエーションの場としても人間生活にかかわりの深い場所である。

2011年3月11日の東日本大震災で発生した大津波により、松川浦は海と潟内を隔てる砂洲が崩壊し、大量の海水が内部に流入した。これにより、ヨシ原やマコモが生育する岸部は大きく攪乱され、多様な沿岸環境と生態系は大打撃を受けた。しかし、被害状況は正確に評価されているとは言えず、生態系を含めた環境の評価は急務であった。そこで、本研究では小型甲殻類のヨコエビ類を指標生物として、東日本大震災による津波襲来後の松川浦の生物多様性の現状を明らかにするために研究を行った。

松川浦からは震災前に19種のヨコエビが記録されている。しかし、今回の調査では5種のヨコエビが確認されたのみであり、今回新たに確認された3種を除くと、過去に記録された17種については姿が見られなくなったことになる。今回の調査では全調査地点9カ所のうちヨコエビの出現を確認できたのは4カ所のみであった。これら9調査地点における塩濃度は2.2-2.7%と多少の差はあるものの、海水の塩濃度(約3.5%)と比較すると低く、汽水環境が保たれていることが分かった。このことから、松川浦から多くのヨコエビ類が姿を消した要因として、津波による生息環境の破壊や変更、津波の流入と引き潮に伴う個体の流出、津波後の塩濃度の上昇などが考えられる。

一方、震災から2年を経て松川浦内の塩濃度は汽水環境に落ち着いており、震災後の攪乱を生き延びた種については、個体数も多く確認されたことから現在では比較的安定した生息状況にあると考えられる。津波及び津波に伴う海水の流入は、遊泳性の種や不安定な基質に依存する種、塩濃度の変化に対する順応性の低い種に対して、より強い影響を与えたことが示唆された。一方、例えばカキ群集のような強固な基質に依存する種や塩濃度変化に対する耐性の強い種では影響が比較的少なかったと考えられる。

今後はヨコエビ以外の生物種についても同様の視点で比較検討を行う必要がある。

1. 研究目的

松川浦(まつかわうら)は、福島県相馬市の太平洋沿岸に位置する潟湖である(Fig. 1)。松川浦は南北5 km、東西3 kmにわたり、いくつかの河川が流入する一方、海水の出入り口は北部の幅約80 mの水路部に限られるため、海水と淡水が入り混じる汽水環境となり、特有の生物相が形成されている。松川浦は、沿岸漁業において重要なカ

レイ類などの生育場としても重要な役割を担っている。また、明治時代まで製塩事業が行われており、近年では自然観察や潮干狩りなどのレクリエーションの場としても人間生活にかかわりの深い場所である。

しかし、2011年3月11日の東日本大震災で発生した大津波により、松川浦は海と潟内を隔てる砂洲が崩壊し、大量の海水が内部に流入した。これにより、ヨシ原やマコモ

が生育する岸部は大きく攪乱され、多様な沿岸環境と生態系は大打撃を受けた (Fig. 2)。しかし、被害状況は正確に評価されているとは言えず、生態系を含めた環境の評価は急務である。松川浦の復興が十分に進まない主因はここにあるとの考えのもと、本研究では小型甲殻類のヨコエビ類を指標生物として、東日本大震災による津波襲来後の松川浦の生物多様性の現状を明らかにするとともに、環境の回復に向けて取るべき対策について提言を行うことを目的として研究を行った。

ヨコエビ類は節足動物門・甲殻亜門・軟甲綱・端脚目・ヨコエビ亜目に属し、海域、汽水域から淡水域、陸域まで幅

広い環境に生息する。ヨコエビは種ごとに生息環境が異なるため、種多様性と環境データを相互に参照することで、様々な沿岸環境における被害の状況を正確に判断できる指標生物としての利用が可能である。松川浦からはこれまでに 19 種のヨコエビが報告されている (Hirayama 1990; Hirayama and Takeuchi 1993)。これらの中には、松川浦の標本に基づいて記載された 6 種が含まれる。また、ヨコエビ類は魚類などの水産有用種の餌生物としても重要である。そのため、松川浦におけるヨコエビ相の現状を把握することは、震災後の漁業のあり方を考える上でも重要な基礎資料になると考えられる。

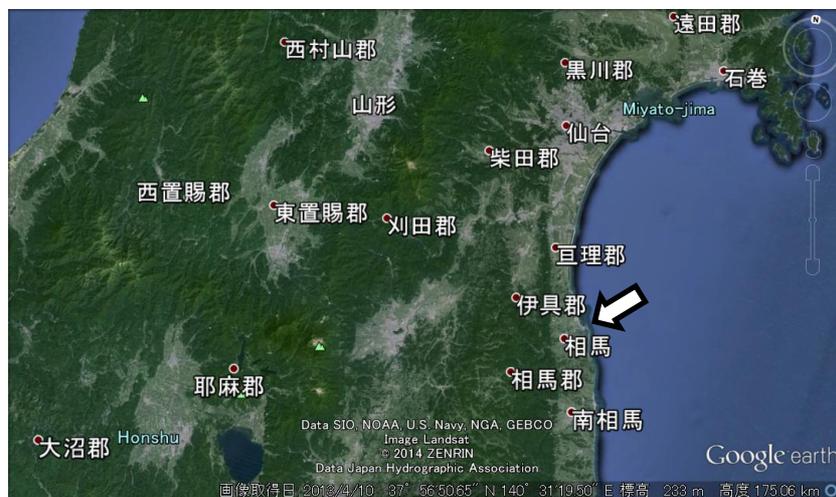


Fig. 1. Map of the study area. Arrow indicates Matsukawa-ura Inlet, Soma City, Fukushima Prefecture, Japan. Modified from Google earth.



Fig. 2. Aerial photographs of Matsukawa-ura Inlet, Soma City, Fukushima Prefecture, Japan. Left and right are photographs before and after Great East Japan earthquake, respectively. Arrows indicate parts of sandbar greatly destroyed by tsunami. Modified from Tsunami suffering map by the Association of Japanese Geographers.

2. 研究方法

2.1 調査時期

2013年10月及び2014年3月に調査を行った。

2.2 調査方法

ヨコエビは、目が0.5 mm以下のネットを用いて落葉や海藻などの基質ごと集め、その後ヨコエビを選び分ける方法で採集した。基質量が多い場合は、水を満たしたバット中で洗い出すことでヨコエビを選び分けた。得られたサンプルは99%エタノールで固定・保存し、実験に供した。調査地点の塩濃度は、ポケット塩分計(アタゴ)を用いて測定した。

2.3 調査地域

調査は松川浦の9地点で行った(Fig. 3)。調査区域は、A) 流入河川河口、B) ヨシ・マコモ帯、C) 藻場、D) その他に区分し、松川浦の多様な環境を網羅的に調査するようにした。

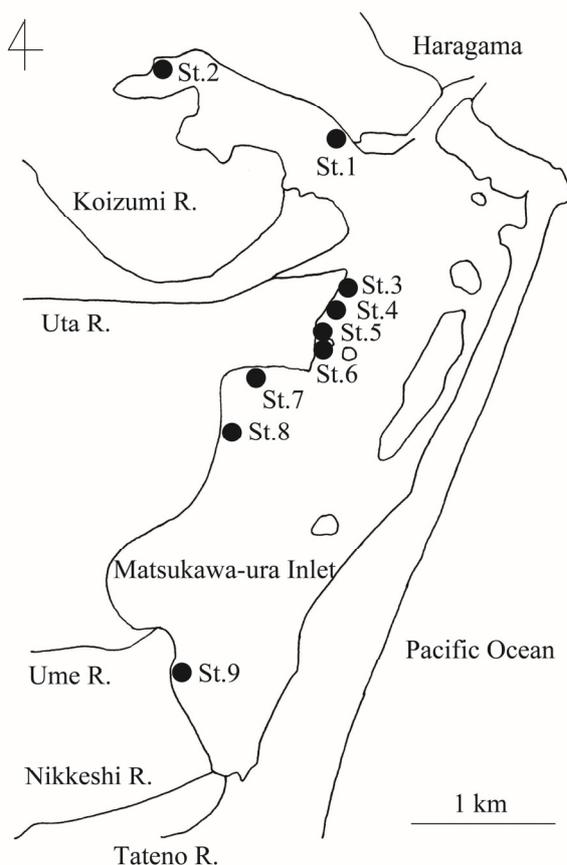


Fig. 3. Map of Matsukawa-ura Inlet, Soma City, Fukushima Prefecture, Japan. St. 1 to 9 indicate the study points in this study.

2.4 データ解析

得られたヨコエビは全ての付属肢を外した後、ガムクロラル液でスライドガラス上に封入し、プレパラート標本作製した。実態顕微鏡および光学顕微鏡を用いて形態形質の観察を行い、分類学的検討および種同定を行った。DNAはヨコエビの付属肢からDNeasy Blood & Tissueキットを用いて抽出した。ミトコンドリアDNAのシトクロームオキシダーゼサブユニットI(COI)の部分領域をPCR法で増幅し、BigDye Terminator v3.1 Cycle Sequencingキットを用いてダイターミネーター法で塩基配列を決定した。

3. 研究結果

3.1 確認された種

本研究の結果、5種のヨコエビ類が確認された(Table 1)。ニッポンモバヨコエビ *Ampithoe lacertosa* Bate, 1858 (Fig. 4A)は松川浦と太平洋の水路部付近(St. 1)の海藻(主としてアオサ類)から多く見つかった。同地点からはモズミヨコエビ *Amphitoe valida* Smith, 1873 (Fig. 4B)も採集された。モクズヨコエビ属の一種 *Hyale* sp. (Fig. 4C)は、今回確認されたヨコエビ類の中では最も多くの地点から見つかった(St. 2, 6, 8)。本種は沿岸部の転石下に多く生息していた。シミズメリタヨコエビ *Melita shimizui* (Uéno, 1940)は松川浦奥部のSt. 2及び中央部のSt. 8から確認された。本種は沿岸部の転石下から見つかった。ハマトビムシ科の一種 (Fig. 4D)は陸生種であるが、松川浦奥部のSt. 2の転石下から確認されたが、個体数は少なかった。今回確認された5種のうち3種(モズミヨコエビ、モクズヨコエビ属の一種、ハマトビムシ科の一種)はこれまで松川浦から記録の無い種であった。

DNAの塩基配列データを用いたDNAバーコーディングの開発を目指し、ミトコンドリアDNAのCOI領域約650塩基対を決定したが、今回の調査で確認された種数が少ないため、DNAバーコーディングの確立には至らなかった。

3.2 調査地点の概要

St. 1 (Fig. 5A)はアオサなどの海藻が繁茂する環境で、底質は砂利、塩濃度は2.4%であった。もともと泥勝ちの底質が、津波により洗われたため砂利質になっている。St. 2 (Fig. 5B)は、津波により松川浦の底に溜まっていた泥が大量に押し寄せたため、泥質であった。塩濃度は2.4%で

Table 1. Gammaridean amphipods recorded from Matsukawa-ura Inlet, Fukushima Prefecture, Japan.

和名	学名	St. 1	St. 2	St. 3	St. 4	St. 5	St. 6	St. 7	St. 8	St. 9	Hirayama and Takeuchi (1993)
和名なし	<i>Allorchestes angusta</i>										○
ニッポンモバヨコエビ	<i>Ampithoe lacertosa</i>	○									○
モズミヨコエビ	<i>Ampithoe valida</i>	○									
和名なし	<i>Aoroides columbiae</i>										○
和名なし	<i>Atylus matsukawaensis</i>										○
アリアケドロクダムシ	<i>Corophium acherusicum</i>										○
和名なし	<i>Dulichia biarticulata</i>										○
ボシエットトゲオヨコエビ	<i>Eogammarus possjeticus</i>										○
ホソヨコエビ	<i>Erichthonius pugnax</i>										○
ニホンソコエビ	<i>Gammaropsis japonicus</i>										○
和名なし	<i>Gitanopsis oozekii</i>										○
エゾテッポウダマ	<i>Guernea ezoensis</i>										○
モクズヨコエビ属の一種	<i>Hyale</i> sp.		○				○		○		
和名なし	<i>Jassa</i> sp. aff. <i>falcate</i>										○
和名なし	<i>Lepidepcreum gurjanovae</i>										○
シミズメリタヨコエビ	<i>Melita shimizui</i>		○						○		○
ホンアゴナガヨコエビ	<i>Pontogeneia stocki</i>										○
和名なし	<i>Stenothoe dentirama</i>										○
ボンタソコエビ	<i>Synchelidium lenorostralum</i>										○
和名なし	<i>Synchelidium longisegmentum</i>										○
ハマトビムシ科の一種	Talitridae gen. sp.		○								
和名なし	<i>Tiron spiniferus</i>										○

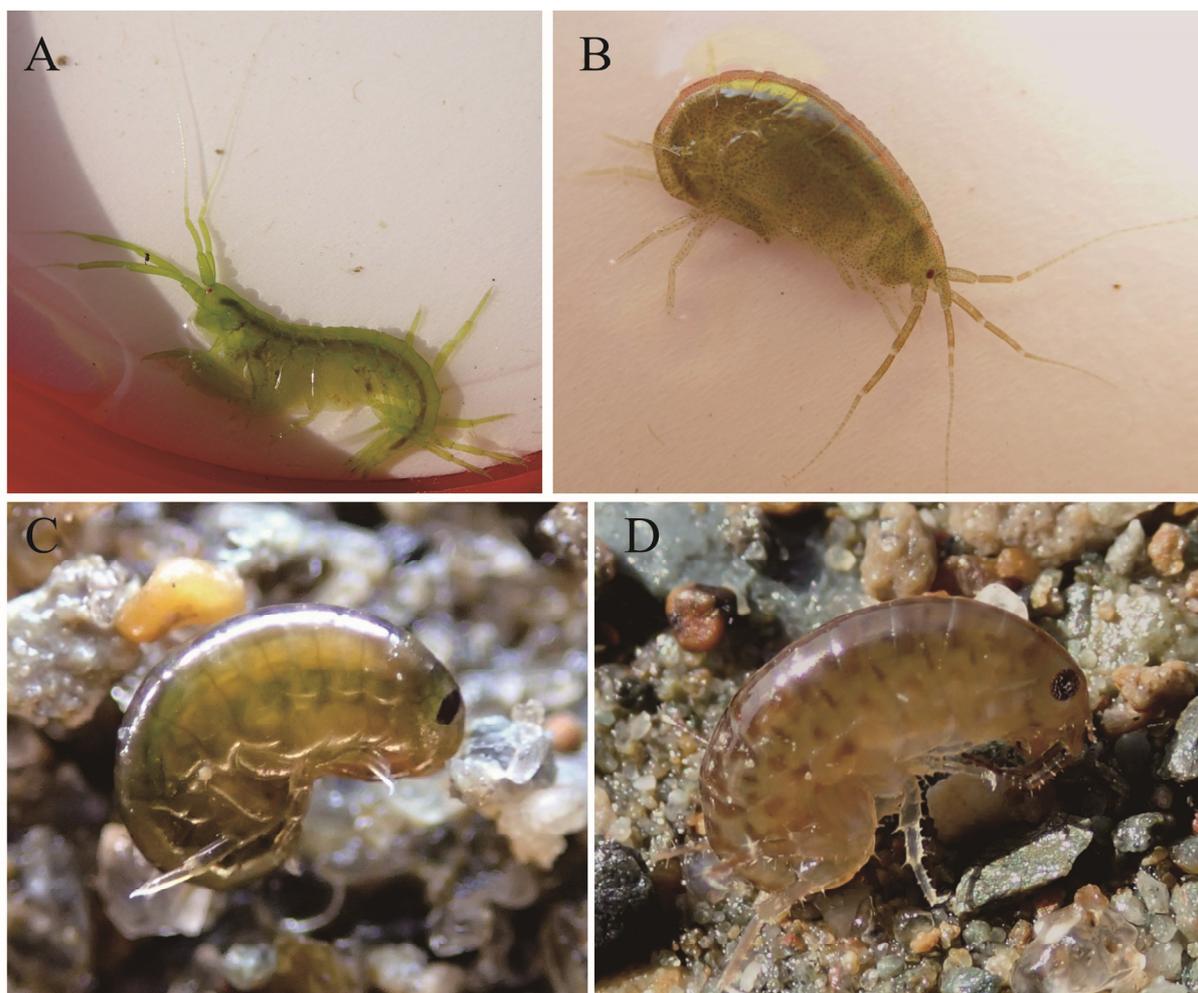


Fig. 4. Gammaridean amphipods collected from Matsukawa-ura Inlet, Soma City, Fukushima Prefecture, Japan. A, *Ampithoe lacertosa*. B, *Ampithoe valida*. C, *Hyale* sp. D, Talitridae gen. sp.



Fig. 5. Photographs of study sites. A, St. 1. B, St. 2. C, St. 3. D, St. 5. E, St. 8. F, St. 9.

あった。St. 3とSt. 4は宇多川の河口に近く、ヨシが多く生えている環境であった(Fig. 5C)。底質は泥質で、塩濃度は2.0~2.2%であった。St. 5とSt. 6は底質が砂利や転石で、カキやフジツボが多く生息する環境であった(Fig. 5D)。塩濃度は2.6~2.7%であった。St. 7はSt. 5, St. 6と同様の環境であったが、塩濃度が2.2%と低かった。St. 8(Fig. 5E)は底質が泥質で、干潮時には広く干潟が出現する環境であった。打ち上げられた海藻が見られ、岩上にはカキやフジツボ、泥中にはアサリやゴカイ類などが多くみられ生物相が豊かであった。塩濃度は2.6%であった。St. 9はコンクリートで護岸された環境で、塩濃度は2.6%であった(Fig. 5F)。

3.3 その他の特筆すべき生物

宇多川下流付近のSt. 3からネットアイアンドクラグ目(刺胞動物門:立方クラゲ綱)の未記載種(Fig. 6A)が採集された。本種は科レベルで未記載である可能性が高いことが分かった。

松川浦沿岸の泥質底の環境では、泥上にホソウミナナ(Fig. 6B)やイソガニ(Fig. 6C)が多くみられた。また、泥中にはアサリ(Fig. 6D)やマテガイ(Fig. 6E)が確認された。泥質底の転石下や打ち上げ海藻下からはテッポウエビ(Fig. 6F)が確認された。マテガイとテッポウエビはSt. 8でのみ確認されたが、ホソウミナナ、イソガニ、アサリは松川浦沿岸に広く分布することが分かった。



Fig. 6. Photographs of invertebrates found in Matsukawa-ura Inlet, Soma City, Fukushima Prefecture, Japan. A, Chirodropid jerry fish. B, *Batillaria attramentaria*. C, *Hemigrapsus sanguineus*. D, *Ruditapes philippinarum*. E, *Solen strictus*. F, *Alpheus brevicristatus*.

4. 考 察

東日本大震災による津波は松川浦の奥部まで達した。これにより、従来泥質の干潟が広がっていた鵜の尾地区は砂泥が流出し、泥質干潟は失われた。一方、松川浦奥部の札の沢地区は津波により泥が大量に蓄積した。また、津波は松川浦を太平洋と隔てている大洲海岸の堤防(砂洲)を破壊し、海水が外洋から直接流入するようになった。宇多川河口付近の砂質干潟とヨシ原は残された。被災から1年以内の調査では、鵜の尾では震災前の半数の底生生物が確認されている(鈴木 2011)。

松川浦からはこれまで 19 種のヨコエビが記録されてい

る(Hirayama 1990; Hirayama and Takeuchi 1993)。しかし、今回の調査では 5 種が確認されたのみであり、今回新たに確認された 3 種(モズミヨコエビ, モクズヨコエビ属の一種, ハマトビムシ科の一種)を除くと、過去に記録された 17 種については姿が見られなくなったことになる。一般的にヨコエビ類は他の甲殻類と比較して生物量が多く、密度も高いが、今回の調査では全調査地点 9 カ所のうちヨコエビの出現を確認できたのは 4 カ所のみであった。これら 9 調査地点における塩濃度は 2.2–2.7%と多少の差はあるものの、海水の塩濃度(約 3.5%)と比較すると低く、汽水環境が保たれていることが分かった。このことから、松川浦から

多くのヨコエビ類が姿を消した要因として、津波による生息環境の破壊や変更、津波の流入と引き潮に伴う個体の流出、津波後の塩濃度の上昇などが考えられる。一方、震災から2年を経て松川浦内の塩濃度は汽水環境に落ち着いており、震災後の攪乱を生き延びた種については、個体数も多く確認されたことから現在では比較的安定した生息状況にあると考えられる。震災前後を通して生息が確認された種は、ニッポンモバヨコエビ *Ampithoe lacertosa* Bate, 1858 とシミズメリタヨコエビ *Melita shimizui* (Uéno, 1940) である。ニッポンモバヨコエビはアオサなどの海藻上に生息する種であるため、場所によっては津波による海藻の流出が防がれたために生き残った可能性がある。シミズメリタヨコエビは比較的大きな転石の下やカキ群集の間で隠蔽的な生活をする種である。そのため、津波の襲来時も基質である転石やカキ群集が流出しなかったために生き残った可能性が高い。

これまでに松川浦からのみ記録のあるヨコエビの種は、ホンアゴナガヨコエビ *Pontogeneia stocki* Hirayama, 1990

(Fig. 7A)、*Atylus matsukawaensis* Hirayama and Takeuchi, 1993 (Fig. 7B)、*Dulichia biarticulata* Hirayama and Takeuchi, 1993 (Fig. 7C)、*Gitanopsis oozekii* Hirayama and Takeuchi, 1993 (Fig. 7D)、*Stenothoe dentirama* Hirayama and Takeuchi, 1993 (Fig. 7E)、*Synchelidium longisegmentum* Hirayama and Takeuchi, 1993 (Fig. 7F) の6種である。これらの種の生態の詳細については不明な点も多いが、近縁種の生息環境から考えて海藻上もしくは砂泥底に生息する種が多いと考えられる。また、これらはプランクトンネットによる採集の報告もある (Hirayama and Takeuchi 1993) ため、活発に遊泳する可能性もある。津波により松川浦のすべての海藻や底質が失われたとは考えにくいので、今後の調査による再発見も期待されるが、津波による流出や生息環境の喪失などにより個体数を著しく減少させた可能性は高い。上記の6種は松川浦のみに分布するという点で生物地理学的にも重要な種であり、生息状況の実態解明と保全に関する研究が急務である。

今回の調査で生息が確認できなかったポシェットゲオ

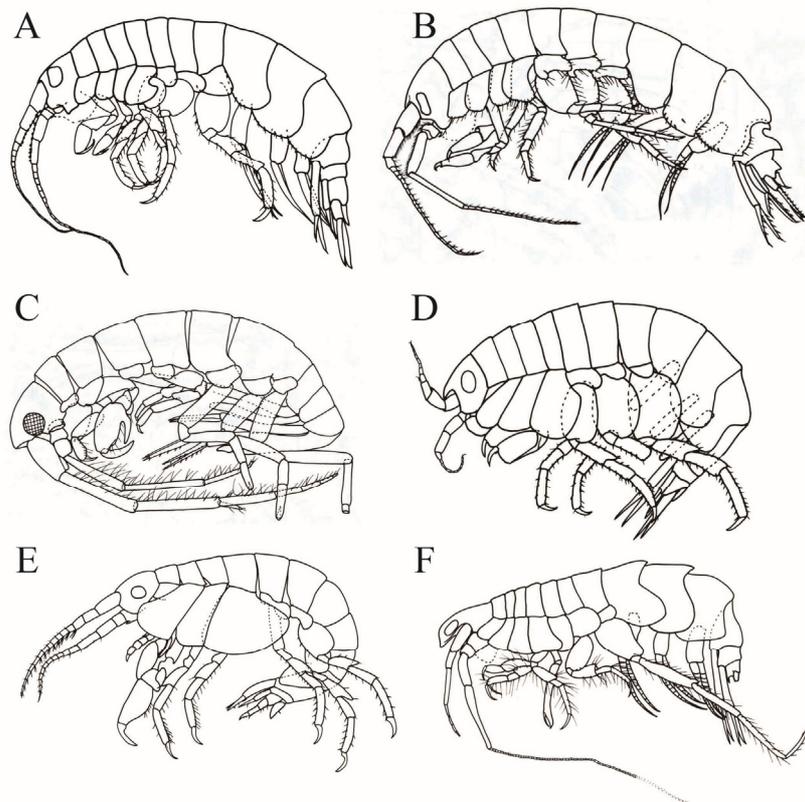


Fig. 7. Gammaridean amphipods found in Matsukawa-ura Inlet, Soma City, Fukushima Prefecture, Japan. A, *Pontogeneia stocki*. B, *Atylus matsukawaensis*. C, *Dulichia biarticulata*. D, *Gitanopsis oozekii*. E, *Stenothoe dentirama*. F, *Synchelidium longisegmentum*. A, after Hirayama (1990). B–F, after Hirayama and Takeuchi (1993).

ヨコエビ *Eogammarus possjeticus* Tzvetkova, 1967 は汽水性のヨコエビで、日本では北海道から九州まで分布する種である (Tomikawa *et al.* 2006)。本種は底生性の種であるが、上述のシミズメリタヨコエビのようにカキ群集の隙間などではなく、落葉落枝や海藻などの基質の下などに多く生息する。そのため、津波による流出の被害を大きく受けた可能性がある。また、塩濃度耐性の違いも関係しているかもしれない。シミズメリタヨコエビは塩濃度変化に非常に順応性が高いことが知られている。津波により外洋の海水が流れ込んだ後もしばらくの間海水が引かなかったことから、汽水環境に適応し塩濃度の変化に対する順応性の低い種は死滅してしまった可能性もある。今後は、種ごとの塩濃度耐性と海水の流入との関係を明らかにする必要がある。

以上のことから、津波及び津波に伴う海水の流入は、遊泳性の種や不安定な基質に依存する種、塩濃度の変化に対する順応性の低い種に対して、より強い影響を与えたことが示唆された。一方、例えばカキ群集のような強固な基質に依存する種や塩濃度変化に対する耐性の強い種では影響が比較的少なかったと考えられる。今後はヨコエビ以外の生物種についても同様の視点で比較検討を行う必要がある。

今回の調査により、ネッタイアンドクラグ目の未記載種が確認されたことは特筆に値する。本種は神奈川県などの太平洋沿岸に分布することが知られており、松川浦は分布の北限に位置する (未発表データ)。生態については不明な点が多いが、8 月から 11 月に沿岸域に出現することが分かっている。本種はもともと松川浦内に生息していたわけではなく、津波の影響により浦内に侵入した可能性が高い。このように、本来松川浦には生息していなかった種が外洋から侵入し定着していることも考えられる。津波による移入種が在来種と競争関係になる恐れもあるため注意が必要である。今回新たに確認された 3 種のヨコエビ (モズミヨコエビ、モクズヨコエビ属の一種、ハマトビムシ科の一種) については、震災前から松川浦に生息していたのか、もしくは津波の影響で外洋から侵入したのかは判断できなかった。モズミヨコエビは海藻上に生息し、塩濃度の高い環境 (海水程度) を好む。そのため、津波により基質の海藻と共に松川浦に侵入した可能性がある。今回の調査では外洋に近い 1 地点のみから確認された。モク

ズヨコエビ属の一種も塩濃度の高い環境を好み、転石の下に生息する。今回の調査では 3 地点から確認され、個体数も多かった。ハマトビムシ科の一種は陸生種である。確認されたのは松川浦奥部の 1 地点のみである。本種の含まれるハマトビムシ科は松川浦周辺の高浜環境に広く出現することが分かっており (未発表)、津波により松川浦沿岸に運ばれたことも十分考えられる。今回新たに松川浦からの出現が確認された種については、松川浦の個体群と外洋の個体群を対象とした集団遺伝子解析により在来か、もしくは津波による移入かを明らかにできると考える。

5. 今後の課題

今回は 2 回の現地調査により、震災前は 19 種が確認されていたヨコエビ目甲殻類が、震災後はこれまで 1 種も見つかっていない一方で、汽水域ではほとんど確認されていなかったネッタイアンドクラグ目の未記載種が初めて発見された。これらのことから、津波による海水の流入やアマモ場の喪失などの沿岸環境の変化により、松川浦の生物多様性はこれまで考えられてきた以上に大きく攪乱されている可能性が示唆された。しかし、生態系の変化を正確に把握するためには短期的な調査だけではなく、中・長期的なモニタリングが必要不可欠である (鈴木 2013)。今後は、本研究で明らかになった被害状況を踏まえつつ、東日本大震災による津波が松川浦の生物多様性に与えた影響を中・長期的にモニタリングするためのプラットフォームの確立が必要不可欠である。継続的なモニタリングには、地元の人々の協力も欠かせない。平成 25 年度の調査でご協力をいただいた NPO 法人松川浦ふれあいサポートを中心に、モニタリングの周知と観察会の開催等を通して、地元の人々の環境回復への意識を高めることも課題である。

松川浦では環境省の絶滅危惧種に指定されているヒノマイトトンボが震災後確認されていないことが新聞などで報道され、注目を集めている。一方、ヨコエビ類をはじめ、多くの無脊椎動物について一般の関心は薄いのが現状である。しかし、例えばヨコエビ類では松川浦のみ出現する種が多く存在し、津波の影響を予想以上に大きく受けている可能性が示唆された。今後は情報の発信と啓蒙活動を重ねることで、地域の人々を中心に松川浦の環境に

関する関心を高め、環境の回復を進めていく必要がある。

6. 文献

Hirayama, A. (1990) A new species of the genus *Pontogeneia* (Crustacea, Amphipoda) from Matsukawaura Inlet, Fukushima Prefecture, Japan. *Beaufortia*, 41 (12): 83–89.

Hirayama, A. and Takeuchi, I. (1993) New species and new Japanese records of the Gammaridea (Crustacea: Amphipoda) from Matsukawa-ura Inlet, Fukushima Prefecture, Japan. *Publications of the Seto Marine*

Biological Laboratory, 36 (3): 141–178.

鈴木孝男 (2011) 東日本大震災による干潟環境の変化と底生生物への影響. *水環境学会誌*, 34 (12): 395–399.

鈴木孝男 (2013) 渚の生態系サービスを取り戻す 津波で被災した干潟生態系の現状とその回復・再生. *森林環境*: 144–152.

Tomikawa, K., Morino, H., Toft, J. and Mawatari, S. F. (2006) A revision of *Eogammarus* Birstein, 1933 (Crustacea, Amphipoda, Anisogammaridae), with a description of a new species. *Journal of Natural History*, 40 (17–18): 1083–1148.

Study on Evaluation of the Influence That the Tsunami by the Great East Japan Earthquake Gave in Biodiversity of Matsukawaura Inlet (Soma City, Fukushima Prefecture) and Environmental Recovery

Ko Tomikawa

Graduate school of Education, Hiroshima University

Summary

Matsukawa-ura Inlet is located in the Pacific coast of Soma City, Fukushima Prefecture, Japan. Matsukawa-ura Inlet is brackish lagoon and characterized by rich biodiversity. A massive tsunami caused by the Great East Japan Earthquake of March 11, 2011 destroyed the sandbar which separated the lagoon from the sea, and a large quantity of seawater flowed inside. The bank parts which reed and water oat grew were greatly disturbed by the tsunami, and various coast environments and ecosystem received severely wounding. In this study, I studied the gammaridean amphipods (Crustacea) as an indicator organism to clarify the present condition of the biodiversity of Matsukawa-ura Inlet after the tsunami invasion by the Great East Japan Earthquake. Before the Great East Japan Earthquake, 19 species of amphipods were recorded from Matsukawa-ura Inlet. However, only five species were collected in this study (three of them were newly recorded species from Matsukawa-ura Inlet). When these three newly recorded species were excluded, 17 species disappeared recorded in the past. Destruction and change of habitats, outflow of individuals, a rise in salt concentration after the tsunami are thought about as the factor that many amphipods disappeared. It was suggested that natans species, species depending on unstable substrates, and species with low adaptability of salinity change were strongly affected by the tsunami and the inflow of the seawater with tsunami. On the other hand, it is thought that the tsunami had little affected on the species attaching stable substrates and with high adaptability of salinity change. In the future, it will be necessary to investigate various invertebrates in a similar viewpoint.