

2014. 6

特集号



(題字：脇口宏学長)

国立大学法人  
高知大学学報

高知大学学位授与記録第六十九号

法人企画課広報戦略室発行

本学は、次の者に博士（学術）の学位を授与したので、高知大学学位規則第14条に基づき、その論文の内容の要旨及び論文審査の結果の要旨を公表する。

\*\*\*\*\*  
 \*  
 \*  
 \*  
 \*  
 \*  
 \*\*\*\*\*

# 高知大学学報

本学は、次の者に博士（学術）の学位を授与したので、学位規則（昭和28年文部省令第9号）第8条の規定に基づき、その論文の内容の要旨及び論文審査の結果の要旨を公表する。

## 目 次

学位記番号	氏 名	学 位 論 文 の 題 目	ページ
甲総黒博第10号	楠瀬 雄三	人工海浜における海浜植物相および植生の形成過程	1
甲総黒博第11号	中城 満	海洋研究成果の教材化と児童・生徒のメタ認知能力の育成	8
甲総黒博第12号	山ノ内 崇志	異なる時空間スケールにおける河川の水生植物群落の成立機構	16
甲総黒博第13号	和田 快	Epidemiological study on the relationship between PTSD symptoms and sleep habits, meal habits, and mental health of people who suffered natural disasters (大規模自然災害被災者の心的外傷後ストレス障害、睡眠健康、食習慣、精神衛生についての疫学的研究)	24

ふりがな	くすのせ ゆうぞう
氏名（本籍）	楠瀬 雄三（高知県）
学位の種類	博士（学術）
学位記番号	甲総黒博第10号
学位授与の要件	学位規則第4条第1項該当
学位授与年月日	平成26年3月24日
学位論文題目	人工海浜における海浜植物相および植生の形成過程
発表誌名	楠瀬雄三・石川慎吾. 2014. 米子市弓ヶ浜の離岸堤によって再生した海浜における海浜植物の分布特性. 植生学会誌, 31: 1-17. <div style="text-align: right; padding-right: 20px;">           審査委員 主査 教授 石川 慎吾                              副査 教授 奥田 一雄                              副査 教授 新保 輝幸         </div>

#### 論文の内容の要旨

海浜は波浪による砂が堆積し、または、流出による攪乱を受け、風による飛沫塩分、砂の移動、貧栄養で乾燥した基質などのストレスの卓越する立地であり（石塚 1977）。これらの環境圧は汀線から内陸にかけて緩和される。このような環境傾度にしたがって、海浜植物はそれぞれの選好する立地に分布域を持つ。海浜の微地形と海浜植物の分布に関しては研究が進んでおり、日本における気候帯別の成帯構造の類型がほぼ明らかにされている。成帯構造の成立要因には、飛砂による堆積や海浜微地形の変化、飛沫塩分、波浪、土壌養分等の重要性が指摘されている。しかし、成帯構造がどのような過程を経て形成されるかについては明らかにされていない。それは、成帯構造の形成過程を明らかにするには、海浜の一次遷移を調べる必要があるが、自然条件下では、海浜植生が形成されるような海浜が新たに形成される可能性は低いからである。

一方、日本ではダムの建設によって河川からの土砂供給が減少したことにより、各地で海岸侵食が起こっており（宇野木 2005）、その対策として、日本各地で海岸堤防や突堤などが建設されてきた。中でも離岸堤は侵食を防ぐだけでなく、背後にトンボロと呼ばれる陸繋砂州を形成し、海浜植物の新たな生育地となっている。海岸侵食の被害が甚大であった場所では海浜が消失する場合があり、そのような場所では海浜を復元させる工法として、主に、離岸堤が用いられる。離岸堤は漂砂を堆積させる作用があり、トンボロと呼ばれる舌状を呈した陸域砂州が形成される。このように海岸侵食によって海浜が消失した場所に離岸堤を設置することによって復元した海浜（以下、離岸堤海浜と呼ぶ）では、海浜植生の一次遷移を調べることが可能である。しかし、離岸堤海浜の植生に関する研究は少なく、離岸堤海浜では自然海浜と比べて、内陸生の種数割合が高くなることや砂を投入して人工的に造られた2つの海浜を比較した場合では、離岸堤が高波の影響を弱めるため、離岸堤が無い海浜よりも離岸堤がある海浜の方が海浜植物の種数が多くなることなどが報告されているに過ぎない。また、離岸堤海浜を自然海浜の代替地として考える際に重要な要素の1つである海

## 論文の内容の要旨

浜面積と種数及び種組成に関する研究は少なく、小面積の海浜で種数が少なくなる要因は明らかにされていない。

一方、海岸侵食への対策による海浜の再生以外にも、海浜植物の保全を対象とした自然再生が行われるようになった。海浜を造る工法には、砂を投入する工法と人工構造物を設置することで漂砂を堆積させる工法がある。これらの工法の違いは海浜地形の形成に違いが生じる。しかし、海浜造成の工法の違いが海浜植生の種組成や群落形成との関係についての研究はみあたらない。

そこで、本研究では、以下、2つの地域を対象とした。1つは東京湾に位置する東京都葛西海浜人工海岸である。本人工海岸では、1976年にU字型に設置された消波ブロックが漂砂を堆積させ海浜植生が形成されている。ここでの海浜植生について、東京湾の自然海岸や人工海浜、河川下流の海岸植物相と比較することで変遷過程を評価するとともに、漂砂を堆積させることで再生した海浜と砂を投入してつくられた人工海浜の海岸植物相の違いを明らかにする。もう1つは、鳥取県米子市の弓ヶ浜である。ここでは、1971年から海岸侵食によって消失した海浜を回復させるために33基の離岸堤が設置され、回復した海浜には植生が形成されている。海岸侵食への対策として造られた離岸堤によって回復した海浜での植生を調べることで、海浜面積と種数との関係や海浜における一次遷移と群落の形成過程を明らかにすることで、海浜植物の生育地としての人工海浜の機能を評価することを目的とする。海浜造成の工法の違いによる種組成の変遷に関する調査では、漂砂を堆積させて形成された東京都葛西海浜人工干潟を対象として、同地における過去の調査結果から海浜植生の時間経過にともなう種組成を明らかにした。これと、砂を投入して造られた、ふなばし海浜公園および東京港野鳥公園の種組成の変遷と比較し、これらを東京湾の海浜植物の種組成と対比させることで、両工法の違いが種組成に及ぼす影響を明らかにした。葛西海浜公園では年数の経過にともなって、種数、植生面積、群落数が増加した。ハビタット別の種数をみると、造成から20年までは塩湿地生の種と海浜生の種の種数が多く、その後は、海岸草原生の種と海崖生の種の種数が増加した。各調査地区を植物相調査データに基づいてBray-Curtis法で序列した結果、葛西海浜公園は年数の経過にともない、ふなばし海浜公園と東京港野鳥公園よりも自然海岸に近づく種組成の変化を示した。それは、自然海岸以外の海岸では少ないハマウド、ハマヒサカキ、タイトゴメなどが確認されたことによる。これらの要因の1つとして、U字型の消波堤が漂砂を捕捉・堆積させることにより変化に富んだ地形が形成され、海崖生の種や海岸草原生の種の生育可能な環境が生じた可能性が考えられた。このように、漂砂を堆積させることによって形成された海浜では、波浪や飛砂によって海浜地形が多様化し、そのことが自然海岸に生育する種の侵入を可能にしていると考えられた。また、東京湾において海岸植物相を構成する基本的な種群が明らかになったことから、これらの種群は海浜の自然再生における目標種として活用できると考えられる。

離岸堤によって回復した海浜（離岸堤海浜）における海浜面積の大小と海浜植生の種組成との関係、成帯構造の形成過程については、米子市の弓ヶ浜を対象に調査した。海浜植物の出現頻度を離岸堤海浜と自然海浜とで比較した結果、ツルナとオカヒジキは離岸堤海浜で有意に高く、ハマハタザオ、アナマスレミ、オニシバ、ケカモノハシの4種は、いずれも、自然海浜で有意に高かった。また、ロジスティック回帰分析の結果、小面積の離岸堤海浜で欠落する傾向を示したのはコウボウシバ、ハマボウフウ、タイトゴメ、ハマゴウ、ウンランの5種であった。ケカモノハシを除く上記の10種について、選好する微地形をもとに考察した結果、このような分布傾向が生

## 論文の内容の要旨

じるのは、波の影響により生育に適した立地が減少するためと考えられた。また、ケカモノハシは、種子供給源が少ないので離岸堤海浜への定着を困難にしていると考えられた。

離岸堤海浜における一次遷移は、まず、海流散布能力を持つ海浜植物が、漂砂の堆積にともなって侵入し、その後、内陸からの種子散布によって内陸植物が侵入することで進行する。その結果、形成初期の離岸堤海浜では、内陸植物と比較して、海浜植物の種数が多くなったと考えられた。一方、5年以上経過した離岸堤海浜では、海浜植物と内陸植物の種数および一年草、越年草、多年草、木本の単位面積あたりの平均種数に有意な差は認められなかった。その理由は、離岸堤海浜は1年以内の短期間で形成され、その後は安定した環境になるためと考えられた。植被面積比率と経過年数との間に有意な関係は認められなかった。しかし、経過年数が4年の地区と8年の地区では、大面積の離岸堤海浜にもかかわらず、10年以上経過した大面積の離岸堤海浜よりも海浜植物群落の面積比率が高かった。これは、海浜植物よりも耐塩性が低い内陸植物が群落を形成するためには10年以上の時間を必要するためであると考えられた。一方、植被面積に対する内陸植物群落の比率を、海浜面積が中程度の離岸堤海浜と大面積の離岸堤海浜で比較した結果、海浜面積が中程度の離岸堤海浜では大面積の離岸堤海浜よりも海浜植物群落の面積比率が低かった。しかし、年数の経過にしたがい内陸植物群落の面積比率が増大する傾向はみられなかった。海浜面積が中程度以上の離岸堤海浜は小面積の離岸堤海浜と比較して波の影響を受けにくいですが、それでも、内陸植物が群落を形成できるほど環境圧の弱い場所は限られると考えられる。上述のように、本調査地の離岸堤海浜は早期に安定状態に至るため、環境圧が弱い場所の面積の変動が小さい。そのため、内陸植物群落の面積比率の変動も小さかったと考えられる。

離岸堤海浜における成帯構造は早期に形成される。その理由は、成帯構造を形成する種が、海浜が形成されてすぐにそれぞれ選好する立地で優占するためである。その後、経過年数8年程度では、成帯構造が最も明瞭になること、16年程度経過すると内陸植物であるコマツヨイグサが海浜全体に優占するため、成帯構造が不明瞭になることが明らかになった。一方で、コマツヨイグサが海浜全体に優占することで相観的には成帯構造が不明瞭な状態になるものの、成帯構造を形成する海浜植物が、それぞれ選好する立地で優占しつづけており、成帯構造が継続して維持されていた。

以上のことから、海浜植物の保全を目的として、海浜を造成する場合には、まず、造成する場所の立地条件を考慮する必要がある。つまり、河口域に新たに海浜を造成する場合には、漂砂の供給が期待できるため、砂を投入する工法よりも、漂砂を堆積させる工法が優れていると考えられる。漂砂を堆積させることによって起伏を伴う海浜地形が形成されるので、海浜植物が生育する多様な立地が生じ、海浜植物相が自然海浜に近くなると考えられるからである。しかし、漂砂を堆積させることによる工法では、種組成が安定した状態になるまで長期間を要する可能性を考慮する必要がある。一方、漂砂が供給されにくい場合には、海洋を埋め立てて海浜を造成する工法を採用せざるを得ない。この場合には、起伏を伴う多様な海浜地形が形成されにくいいため、海浜植物相が自然海浜に近づかない可能性があるものの、早期に種組成が安定する利点がある。ただし、海浜へ種子が漂着する可能性を高めるために、恒流への開放度を高める必要がある。

## 論文の内容の要旨

海岸侵食への対策として設置された離岸堤では、起伏に伴う海浜微地形が早期に形成されるため、種組成や群落も早期に安定状態に至ることが明らかになった。また、自然海浜では確認された多くの海浜植物が離岸堤海浜で確認されたことから、離岸堤海浜は海浜植物の生育地として機能すると考えられた。しかし、小面積の離岸堤海浜では欠落する種群が認められたことから、離岸堤海浜による海浜植物の保全には十分な海浜面積を確保する必要があると考えられた。一方、未解明であった成帯構造の形成過程については、少数の先駆種が広く海浜を覆うものの、成帯構造を形成する種が、それぞれの選好する立地に優占することで、成帯構造が短期間で形成されることが明らかになった。

## 論文審査の結果の要旨

海浜は、波浪による砂の堆積，流出による攪乱を受け，風による飛沫塩分，砂の移動，貧栄養で乾燥した基質などのストレスの卓越する立地であり，これらの環境圧は汀線から内陸にかけて緩和される。このような環境傾度にしたがって，海浜植物はそれぞれの選好する立地に分布域を持つ。海浜の微地形と海浜植物の分布に関しては，早くから研究が進んでおり，日本における気候帯別の成帯構造の類型がほぼ明らかにされている。成帯構造の成立要因には，飛砂による堆積や海浜微地形の変化，飛沫塩分，波浪，土壌養分等の重要性が指摘されているが，成帯構造がどのような過程を経て形成されるかについてはほとんど明らかにされていない。その主な理由は，成帯構造の形成過程を明らかにするには，海浜の一次遷移を調べる必要があるが，自然条件下では，海浜植生が形成されるような海浜が新たに形成される可能性は極めて低いことにある。

一方，日本ではダムの建設によって河川からの土砂供給が減少したことにより，各地で海岸侵食が起こっており，その対策として海岸堤防や突堤などが建設されてきた。中でも離岸堤は侵食を防ぐだけでなく，背後にトンボロと呼ばれる陸繋砂州を形成し，海浜植物の新たな生育地となっている。このように海岸侵食によって海浜が消失した場所に離岸堤を設置することによって復元した海浜（以下，離岸堤海浜）では，海浜植生の一次遷移を調べるのが可能である。しかし，離岸堤海浜の植生に関する研究は極めて少なく，明らかにされていることは，1) 離岸堤海浜では自然海浜と比べて内陸生の種数割合が高くなること，2) 離岸堤が高波の影響を弱めるため離岸堤が無い海浜よりも離岸堤がある海浜の方が海浜植物の種数が多くなること，などに過ぎない。本学位論文の中核は，離岸堤や消波堤などによって新たに形成される様々なタイプや大きさの人工海浜に着目し，それらの立地環境としての特性に注意を払いながら，海浜植物相および海浜植物群落形成される過程を明らかにしたことである。

学位論文は全体で4つの章で組み立てられている。序章に続き，第1章では東京都葛西海浜公園の消波堤によって形成された海浜における海岸植物相の形成過程を明らかにし，第2章から第4章で鳥取県米子市弓ヶ浜の離岸堤によって再生した海浜において，1) 海浜植物相の分布特性，2) 初期の植生動態，3) 成帯構造の形成過程を明らかにしている。最後にこれらを総合的に考察し，人工海浜における海浜植物相および海浜植物群落の形成過程を整理することを試みている。

第1章で調査地とした葛西海浜人工海岸では，1976年にU字型に設置された消波ブロックが漂砂を堆積させて海浜植生が形成されている。ここでの海浜植生について，東京湾の自然海岸や人工海浜，河川下流の海岸植物相と比較することで変遷過程を評価するとともに，漂砂を堆積させることで再生した海浜と砂を投入してつくられた人工海浜の海岸植物相の違いを明らかにしている。葛西海浜公園では年数の経過にともなって，種数，植生面積，群落数が増加したこと，Bray-Curtis法による各調査地の序列づけの結果，葛西海浜公園では年数の経過にともない，ふなばし海浜公園と東京港野鳥公園よりも自然海岸に近づく種組成の変化を示したことを明らかにしている。その理由として，自然海岸以外の海岸では少ない，ハマウド，ハマヒサカキ，タイトゴメなどが葛西海浜公園で確認されたことを挙げ，U字型の消波堤が漂砂を捕捉・堆積させることにより変化に富んだ地形が形成され，海崖生の種や海岸草原生の種の生育可能な環境が生じた可能性を指摘している。

## 論文審査の結果の要旨

第2章では離岸堤によって再生した海浜における海浜植物の分布特性を明らかにしている。海浜植物の出現頻度を離岸堤海浜と自然海浜とで比較した結果、ツルナとオカヒジキは離岸堤海浜で有意に高く、ハマハタザオ、アナマスレミ、オニシバ、ケカモノハシの4種は、いずれも、自然海浜で有意に高いことを明らかにした。また、ロジスティック回帰分析によってコウボウシバ、ハマボウフウ、タイトゴメ、ハマゴウ、ウンランの5種が小面積の離岸堤海浜で欠落する傾向を示すことを明らかにした。ケカモノハシを除く上記の10種について、選好する微地形をもとに考察し、このような分布傾向が生じる理由として、波の影響により生育に適した立地が減少するためであることを明らかにした。

第3章では離岸堤海浜における一次遷移についてまとめている。一次遷移の初期には、まず第一に海流散布能力を持つ海浜植物が漂砂の堆積にともなって侵入するので、それが海浜植物の種数の多い理由であること、5年以上経過した離岸堤海浜では、海浜植物と内陸植物の種数および一年草、越年草、多年草、木本の単位面積あたりの平均種数に有意な差は認められないことを明らかにしている。その理由として離岸堤海浜は早期に形成され、その後は安定した環境になるためであると結論づけている。植生面積に対する内陸植物群落の比率を、海浜面積が中程度の離岸堤海浜と大面積の離岸堤海浜で比較した結果、海浜面積が中程度の離岸堤海浜では大面積の離岸堤海浜よりも海浜植物群落の面積比率が低かったものの、年数の経過にしたがって内陸植物群落の面積比率が増大する傾向はみられなかったことを示している。その理由として、海浜面積が中程度以上の離岸堤海浜は小面積の離岸堤海浜と比較して波の影響を受けにくいものの、内陸植物が群落を形成できるほど環境圧の弱い場所は限られることを指摘している。このように、調査地の離岸堤海浜は早期に安定状態に至るため、環境圧の弱い場所が年数の経過とともに増減する可能性は低く、これが年数が経過しても内陸植物群落の面積比率が増減しない理由としている。

第4章では離岸堤海浜における成帯構造の形成過程について、1) 成帯構造を構成する海浜植物は離岸堤海浜の形成初期からそれぞれの選好する立地に優占することで早期に成帯構造を形成しつつあること、2) 経過年数8年程度で成帯構造が最も明瞭になること、3) 16年程度経過すると外来植物であるコマツヨイグサが海浜全体に優占するため、成帯構造が不明瞭になることを明らかにした。一方で、16年以上経過した離岸堤海浜においても、コマツヨイグサが海浜全体に優占することで成帯構造が不明瞭になるものの、成帯構造を形成する海浜植物が、それぞれ選好する立地で優占しつづけていたことから、海浜植物のみに着目すると、調査地とした離岸堤海浜では、形成初期から形成されていた成帯構造が、その後も維持されていることを示した。

本学位論文では、以上の結果を総合的に考察し、海浜植物の保全を目的として海浜を造成する場合には、まず、造成する場所の立地条件を考慮する必要があることを以下のように指摘している。河口域人工海浜を造成する場合には、漂砂の供給が期待できるため、砂を投入する工法よりも、漂砂を堆積させる工法が優れていること。その理由として、漂砂を堆積させることによって起伏を伴う海浜地形が形成され、そのことで海浜植物が生育する多様な立地が生じ、海浜植物相が自然海浜に近くなることを指摘している。一方、漂砂が供給されにくい場合には、海洋を埋め立てて海浜を造成する工法を採用せざるを得ない。この場合には、起伏を伴う海浜地形が形成さ

## 論文審査の結果の要旨

れにくいため、海浜植物相が自然海浜に近づきにくいので、海浜へ種子が漂着する可能性を高めるために、恒流への開放度を高める必要があることを述べている。海岸侵食への対策として設置された離岸堤では、起伏に伴う海浜微地形が早期に形成されるため、種組成や群落も早期に安定状態に到達すること、また自然海浜で確認された多くの海浜植物が離岸堤海浜でも確認されたことから、離岸堤海浜は海浜植物の生育地として機能すると評価している。しかし、小面積の離岸堤海浜では欠落する種群が認められたことから、離岸堤海浜による海浜植物の保全には十分な海浜面積を確保する必要性を指摘している。

以上のように本学位論文は、新しく海浜が形成されるさまざまな人工海浜を対象にして、いまままで明らかにされてこなかった海浜植物相と植生の形成過程の一端を明らかにしている。多様な人工海浜を適切に比較する着眼点と調査手法は、申請者の優れたオリジナリティーを示すものであり、高く評価できる。また、本学位論文は、海浜における生態系と生物多様性を保全あるいは復元していく際に役立つ極めて重要な知見を多く含んでおり、人間と自然との共生を目指す黒潮圏科学の目標に密接に関連する内容を含むと考えられる。

ふりがな	なかじょう みつる
氏名（本籍）	中城 満（高知県）
学位の種類	博士（学術）
学位記番号	甲総黒博第11号
学位授与の要件	学位規則第4条第1項該当
学位授与年月日	平成26年3月24日
学位論文題目	海洋研究成果の教材化と児童・生徒のメタ認知能力の育成
発表誌名	Nakajo M, Sekimoto T, Emi K, Ide R, Wada K, Inoue T, Moku M, Košťál V, Katagiri C, Harada T 2013: Comparison of temperature preference for habitat among three species of oceanic sea skaters, <i>Halobates micans</i> , <i>H. germanus</i> and <i>H. sericeus</i> . <i>Natural Science</i> 5-12A: 9-15
	審査委員 主査 教授 原田 哲夫 副査 准教授 伊谷 行 副査 准教授 田口 尚弘

### 論文の内容の要旨

本学位論文は、「児童生徒の理科離れ」「教員の理科離れ」の解消を最終目的とした基礎科学研究から介入授業研究までを通じた総合的研究であり、以下の5部から構成されている。

1. 基礎研究
2. 理科教材開発を目的とした、海洋研究「外洋棲ウミアメンボ3種の生息密度と温度環境」（基礎科学研究）
3. 「青少年のための科学の祭典」に参加した子どもと保護者の科学への意識と分野選択に関する質問紙研究（質問紙研究）
- 4-1. 「アメンボが浮くしくみ」教材の教育的効果を評価する為の介入授業研究
- 4-2. 子どものメタ認知能力を生かした授業の教育的効果を評価するための介入授業研究
- 4-3. 科学研究成果の教材化とメタ認知能力育成をめざした手法の開発（介入授業研究）
5. 総合的考察

#### 1. 基礎研究

日本における理科教育の現状を探ると共に、その原因を明らかにする。また、現在注目されている「科学コミュニケーター」に視点をあて、この取り組みや理念を分析する。その考え方をもとに、学校教育における科学コミュニケーターとしての理科教師の役割を明確にする。

わが国における理科教育の現状としては、国際比較から見た理科の学力は高い能力を有しているが、学力の高い児童・生徒と低い児童・生徒の「二極化」がわが国の大きな課題であることが明らかとなった。またこの「二極化」の傾向は理科に対する興味・関心や理科が将来役に立つ学習

## 論文の内容の要旨

であるかどうかといった意識面にまで及ぶことが明らかとなった。

理科の学習を通して身につくものとして「科学的な見方や考え方」「科学的な自然観」があるが、現在の学校教育課程を通して育った児童・生徒・学生について、「理系」「文系」の違いについて、この2者間である程度能力の違いが見られたものの、誤概念に基づきまちがった判断をしてしまうなど能力的な面で共通する部分も明らかとなった。これらの点は、理科教員としての資質として、単に科学的な知識を豊富に有しているだけでなく、児童・生徒の立場に立った視点からの技術や知識が求められるということが推察できる。

科学コミュニケーションは、一般的には、社会における「科学」と「一般市民」を結ぶための手段として位置づいている。これを理科教育に置き換え、「科学的概念」つまり理科で指導する内容と、「児童・生徒」を結ぶ役割を果たすコミュニケーターとしての理科教師の役割を明確にしようとするものである。科学コミュニケーターに求められる「インタープリター」「メンター」「リエゾン」の3つの役割および能力は、まさに理科教師に求められる役割であり能力であるといえる。また、科学コミュニケーション活動のための「協働のルール」は、科学研究成果の教材化にあたっての基本的な指針であるといえる。

これらの基礎研究で明らかにされたことに基づき、教材化および介入授業実践へと移行した。

### 2. 基礎科学研究

南太平洋と西熱帯太平洋の様々な海域を対象に3航海を行い、ウミアメンボ採集と表面付近の水温・気温測定を行った。コガタウミアメンボ（小型）は22-23℃の低温下でも比較的高い生息密度を維持できるのに対し、ツヤウミアメンボ（大型）やセンタウミアメンボ（中型）は28-30℃の高温下のみで高生息密度を維持できた。北緯40度の冷温帯域にも生息するコガタウミアメンボが広い温度適応域を持つことを暗示している。本知見は温度嗜好の差が生物の生息域の違いに結びつくことを教える格好の教材となる可能性を秘める。

### 3. 質問紙研究

本研究の目的は、青少年のための科学の祭典高知大会2011に参加した子ども達と保護者について、科学への意識と科学技術のどの分野に興味を示すのか、との間の関係を明らかにすることにある。質問紙は、「38の出典のうち、どの出典が興味深かったか。」「どの出典が為になったか。」「どの出典から新知識が得られたか。」の項目を含み、いずれも3出典まで選択できた。学校で理科が得意な（だった）参加者は、得意ではない（なかった）参加者より、「興味深い」「為になる」と感じた出典数が多かった。理科好きな参加者と比較して、理科好きではない参加者が、より多くの割合で、新知見が得られた出典として、生物学関連のものを選択した。学校で理科が得意でない（なかった）参加者と比較して、理科が得意な（だった）参加者が、より多くの割合で、新知見が得られた出典として、物理学関連のものを選択した。

これらの結果を総合すると、理科好きな子ども達は“物理学領域”に興味を持ち、理科嫌いな子ども達でも“生物学領域”なら興味が持てることを暗示している。

## 論文の内容の要旨

### 4-1. 「アメンボが浮くしくみ」教材の教育的効果を評価する為の介入授業研究

小学校中学校の理科授業で、教材「アメンボはどうやって水の上に浮いたり滑ったりしているのだろう」が使用され、評価された。3つの主な解答がこの問いの答えとなる。

- (1) アメンボは（その体重が）大変軽く、長い中足、後ろ足を持っている。
- (2) 彼らは夥しい細かな毛をその足に持っている。
- (3) 彼らは肢の符節から油を分泌し、自身の肢に貼付する。

これら3点共に、肢の表面が水面を押し圧力を軽減させる。

アメンボ類が滑っている水面に洗剤を入れると、それが原因で彼らは水におぼれる。このような実験は、小中学校の児童生徒に対し、「肢の周りの表面張力を維持することが、アメンボ類が浮くためには決定的に重要であること」を教えるのにある程度効果的であることが確かめられた。しかしながら、“表面張力”という専門用語は、小中学生が理解するためには困難であるようだ。このような結果から、アメンボの肢に生えている夥しい量の毛の間にある油が、水面に浮くための鍵となる要因として容易に思い描けるが、“水面に浮くための要因”については、物理的現象についての考察が必要とされるため、特に小学生において理解の困難さが生じたのではないかと推察できる。

この主題は「環境保全科学教育」用の効果的な教材の開発促進に結び付く。そしてこの場合の環境保全科学は通常の人々によって廃棄される洗剤によって生じる河川汚染と関係する。例えば、中学校3年生理科学習指導要領（文部科学省，2010a [19]）における「自然環境の保全と有用な科学技術」の単位では、以下のような情報が環境保全の方法を紹介する適切な教材として紹介される事が可能であろう。

○アメンボの仲間や他の水生昆虫は洗剤、金属そして以下の物理学的、化学的条件（電気伝導度：塩分濃度、溶存酸素量、炭酸カルシウム耐性、カルシウム、マグネシウム、アルカリ度、塩化物、硫酸塩、硝酸塩、リン酸塩、溶存酸素、そして生物化学的酸素要求量）(Biochemical Oxygen Demand: B.O.D)の生物指標として使用可能である。

学習指導要領理科編によれば、本教材「アメンボはどのように水面に浮き、滑走できるか」は教科書の以下の内容にふさわしい学際的教材であり、理科教育において活用可能である。

1. 身近な自然（生き物と生活に身近な環境）の観察（小学校第3学年）
2. 生き物とその環境（生き物と水の関係）（小学校第6学年）
3. 動物の世界（無脊椎動物の世界）（中学校第2学年）
4. 生き物とその環境（自然環境の調査と環境保全）（中学校第3学年）
5. 空気と水の性質（小学校第4学年）
6. 物質とはどのように水にとけるか（小学校第5学年）
7. 力と圧力（中学校1学年）
8. 水への溶解（中学校1学年）
9. 自然環境保全と有用な科学技術（中学校3学年）

## 論文の内容の要旨

### 4-2. 子どものメタ認知能力を生かした授業の教育的効果を評価するための介入授業研究

本研究は、学習者自身に自らの認知過程を自覚させるための具体的な指導法の開発を試みたものである。具体的には、「他者」あるいは「もの」によって学習者自身が思考を変容させる過程とその根拠を自覚させることを目的としている。この自覚はメタ認知体験にほかならない。最終的にはこの体験を繰り返させることによって、メタ認知能力の育成が期待されるのである。

ここでいうメタ認知は、次のような二つの側面を持つ。すなわち、「自らの認知過程についての認識」と「自らおこなう認知の制御」である。第一の側面である「自らの認知過程についての認識」とは、学習者の知識獲得過程それ自体について、自己を省みることによって得られた認識である。これに対して、「自らおこなう認知の制御」とは、新しい課題に直面した時に、これまで獲得してきた認知過程についての認識の中から、その課題を解決するために適切な方略を選び出すことである。

学習におけるこれら二つの側面は相互に関連していると考えられる。すなわち、「自らの認知過程についての認識」を得る体験を意識的に積み重ねることによって、「自らおこなう認知の制御」能力を身につける場合もあれば、逆に「自らおこなう認知の制御」を体験的に学ぶことによって「自らの認知過程についての認識」の自覚を深める場合もある。本研究においては、第一の場合である「自らの認知過程についての認識」を得る体験を通して、「自らおこなう認知の制御」能力を身につける場合に焦点が当てられる。すなわち、自らが獲得した知識がどのような過程を経て自らのものとなったのか、その筋道の自覚を体験する場を理科授業において提供することによって、メタ認知能力を育成しようとする試みである。

本研究では、日常的な教師の教授活動への導入のために、簡便かつ即時的に児童の思考の変容とその根拠を自覚化させる手法を目的とした。この点については、児童の発言等から一定の成果を得ることができた。また、このような即時的な思考過程の明示は、通常の授業において対応すべき指導者自身が児童を把握するためにも有効であった。

具体的には、児童の実験活動中、グラフや表の作成過程を児童自身が確認できるような環境を整えておくことによって、予想の変容を自己の思考の変容として児童自身が知ることができたのである。これは同時に、指導者の立場からすれば、教授過程において、随時児童の思考の変容を把握できることを意味している。さらに、グラフや表の作成過程を明示することによって、児童自身の思考とその児童をとりまく他者の思考までも指導者が把握できるのである。

### 4-3. 科学研究成果の教材化とメタ認知能力育成をめざした手法の開発（介入授業研究）

2つの自然科学研究の成果を教材化し、これを用いた授業を行い、その教育的効果を授業前後の質問紙で調べ、メタ認知プロセスの授業への導入効果を探った。ナガサキアゲハの北上の理由（高温耐性の変化か、気候の温暖化か）や外洋棲ウミアメンボ類と淡水棲ウミアメンボ類のどちらが高温に強いのか？について、個人考察後とグループ議論後の2回、磁石付個人番号を黒板の2枚のどちらかに張りつけるという、“メタ認知行為”を行った。授業後の質問紙での「答えの判断をした思考過程」について記述した生徒の割合は、“メタ認知行為”群のみ増加し、メタ認知行為を行わなかった対照群は変化しなかった。メタ認知能力を生かした授業が科学的思考を促す可能性が暗示された。

論文の内容の要旨

3時間にわたる介入授業を受けて児童が「環境問題に興味がありますか」という問いに対し、より興味を持っている方向への回答行動の有意な変化が授業直後に認められ(Wilcoxon test:  $z=-2.5$ ,  $p=0.012$ ), この変化は1か月後も有意に維持されていた(Wilcoxon test:  $z=-3.0$ ,  $p=0.002$ )。動物とその環境に関して学んだ本介入授業が、環境問題への関心を促し定着させる一定の効果があるかも知れない。“マグネットを用いたメタ認知促進法”を用いた Class A, B (実験区) と用いなかった Class C (対照区) 間での“回答に至った思考過程”を記述した児童数の比較をしたところ、実験区のクラスの方が対照区クラスより、思考過程を記述した児童数が有意に多かった( $\chi^2$ -test: 「陸水産と外洋産のウミアメンボではどちらが温度変化に強い?」,  $\chi^2$ -value= 3.104,  $df=1$ ,  $p=0.078$ ; 「ナガサキアゲハの分布の広がり(北進)は地球温暖化が原因だろうか?」,  $\chi^2$ -value= 7.46,  $df=1$ ,  $p=0.006$ )(表 4-3-11 参照)。更に、“思考過程において回答に至った根拠”を記述した児童数を比較したところ、実験区のクラスの方が対照区クラスより、“根拠”を記述した児童数が有意に多かった( $\chi^2$ -test: 「陸水産と外洋産のウミアメンボではどちらが温度変化に強い?」,  $\chi^2$ -value= 6.067,  $df=1$ ,  $p=0.014$ ; 「ナガサキアゲハの分布の広がり(北進)は地球温暖化が原因だろうか?」,  $\chi^2$ -value= 16.181,  $df=1$ ,  $p<0.001$ ) (表 4-3-12 参照)。本研究で用いた“マグネットを用いたメタ認知促進法”は他者の考えを認識することを通じて自らの科学的思考活動の認識を促進する効果があると言えよう。

**表 4-3-11 : “マグネットを用いたメタ認知促進法”を用いた Class A, B (実験区) と用いなかった Class C (対照区) 間での “回答に至った思考過程” を記述した児童数の比較**

ウミアメンボ	児童数	考えの変容の記述
1 組 (仮) (実験区)	21	11
2 組 (仮) (実験区)	26	9
3 組 (仮) (対照区)	20	4

$\chi^2$ -test:  $\chi^2$ -value= 3.104,  $df=1$ ,  $p=0.078$

ナガサキアゲハ	児童数	考えの変容の記述
1 組 (仮) (実験区)	26	9
2 組 (仮) (実験区)	—	(未回収)
3 組 (仮) (対照区)	31	2

$\chi^2$ -test:  $\chi^2$ -value= 7.46,  $df=1$ ,  $p=0.006$

論文の内容の要旨

**表 4-3-12：“マグネットを用いたメタ認知促進法”を用いた Class A, B（実験区）と  
用いなかった Class C（対照区）間での“思考過程において回答に至った根拠”を記述  
した児童数の  
比較**

	児童数	考えの変容の記述（含根拠）
1組（仮）（実験区）	21	6
2組（仮）（実験区）	26	6
3組（仮）（対照区）	20	1
$\chi^2$ -test: $\chi^2$ -value= 6.067, df=1, p=0.014;		
	児童数	考えの変容の記述（含根拠）
1組（仮）（実験区）	26	9
2組（仮）（実験区）	—	（未回収）
3組（仮）（対照区）	31	0
$\chi^2$ -test: $\chi^2$ -value= 16.181, df=1, p<0.001		

5. 総合的考察

本授業実践研究で用いられた教材化のための科学研究成果は温暖化という今日的課題と関連の深い内容であった。このことは、どの児童・生徒にとっても話題性が高く学習意欲を喚起させることにつながった。また、アメンボそのものが児童・生徒にとっては身近な生き物であるだけでなく、ウミアメンボが存在していることへの意外性も興味・関心を持たせる要因となった。このようなことから、学習に対する動機付けにおいては、学習の「二極化」をある程度防ぎ、学習を効果的に構成することができた。また、この教材は、学習指導要領における第6学年「生物と環境」の教材としても十分活用できることが示された。

介入授業で実施した「生物と環境」の単元は、小学校での理科学習の総括としての役割をもったものである。しかし、このような総括としての役割が影響して、児童が使用する教科書は大変抽象的な内容が目立つ。例えば、有馬ら（2010）における記述は「水のじゅんかんと生物」「水や空気を守る」などである。このような抽象的な環境問題などの内容に対する具体的な事例の一つとして本教材は活用できるのである。

介入授業における分析から、児童の立場や考えを随時明示させることによって、ある程度児童自身の学習状況を自覚させることができることが明らかとなった。それは、児童の予想を一覧表にしたり、自分の考えを示す立場を出席番号カードで表示したりすることなどを通じて達成できた。ただ、このような自覚的な状況は、あくまでその瞬間の自分自身の考えや立場を自覚させたに過ぎない。このような自覚の経験を日常的な学習活動において、常に意識させてやる必要がある。このような継続的な指導を通じてメタ認知能力は育成されるのである。

## 論文審査の結果の要旨

本学位論文は、「児童生徒の理科離れ」「教員の理科離れ」の解消を最終目的とした基礎科学研究から介入授業研究までを通じた総合的研究であり、以下の5部から構成されている。

1. 総合序論
2. 理科教材開発を目的とした、海洋研究「外洋棲ウミアメンボ3種の生息密度と温度環境」(基礎科学研究)
3. 「青少年のための科学の祭典」に参加した子どもと保護者の科学への意識と分野選択に関する質問紙研究
- 4-1. 「アメンボが浮くしくみ」教材の教育的効果を評価する為の介入授業研究
- 4-2. 子どものメタ認知能力を生かした授業の教育的効果を評価するための介入授業研究
- 4-3. 科学研究成果の教材化とメタ認知能力育成をめざした手法の開発(介入授業研究)
5. 総合考察

1. 総合序論では、「科学コミュニケーター」というキーワードを用い、新しい自然科学研究成果を教育現場に加工・導入し、科学的思考力を育てる教材・授業の開発・検証の実行を理想に、「科学コミュニケーター」としての新教材を開発検証しようとするモデル研究であるという本論文の位置付けを行っている。自然科学研究からその成果を基礎とした教材開発、そしてその新教材の教育的効果を検証しようとする疫学的研究にまで渡る広範囲展開研究は理科教育学分野でも稀有な存在と言えよう。

2. 基礎科学研究では、南太平洋と西熱帯太平洋の海域を対象に3航海を行い、ウミアメンボ採集と表面付近の水温・気温測定を行った。高緯度にも生息するコガタウミアメンボ(小型)は22-23°Cの低温下でも比較的高い生息密度を維持できるのに対し、低緯度を中心に生息するツヤウミアメンボ(大型)やセンタウミアメンボ(中型)は28-30°Cの高温下のみで高生息密度を維持できた。本知見は太平洋の広い範囲に生息する動物において、温度嗜好の差が生物の生息緯度分布域の違いに結びつくことを示した点で、海洋生物学の分野に貴重な新知見を与えただけでなく、温度環境と生物の営みの関係について教える格好の新教材になる基礎情報を理科教育学の分野に与えた。

3. 「青少年のための科学の祭典」に参加した子どもと保護者の科学への意識と分野選択に関する質問紙研究”では、青少年のための科学の祭典高知大会2011に参加した子ども達と保護者について、科学への意識と科学技術のどの分野に興味を示すのか、との間の関係を明らかにし、「理科離れ」の解消を考える上での基礎資料とすることを目的としている。結果をまとめると、理科好きな子ども達は“物理学領域”に興味を持ち、理科嫌いな子ども達でも“生物学領域”なら興味が持てることを暗示している。本研究結果は、理科離れを解消する第1歩として生物領域からの導入が効果的である可能性を暗示しており、日本の理科教育学分野に新知見を与えるものである。

## 論文審査の結果の要旨

4-1. “「アメンボが浮くしくみ」教材の教育的効果を評価する為の介入授業研究”では、「アメンボがどのように水面に浮くのか」についての教材の教育的効果を検証した。アメンボ類が滑っている水に洗剤を入れると、それが原因で彼らは水におぼれる。このような実験は、小中学校の児童生徒に対し、「肢の周りの水表面張力を維持することが、アメンボ類が浮くためには決定的に重要であること」を教えるのにある程度効果的であることが授業の前後に行われた質問紙調査結果により確かめられた。本研究成果は、小学校第3学年から中学校第3学年の理科における様々な単元と関連しており、生物、物理、化学のいずれの領域にも関係する有効な総合的教材としての価値をある程度示した。また中学校3年生理科学習指導要領中には「自然環境の保全と有用な科学技術」の単元で、「環境保全科学教育」用のモデル教材として、環境指標動物であるアメンボ類が取り上げられており、環境保全教育への有効な教材になることも本章で示している。

4-2. “子どものメタ認知能力を生かした授業の教育的効果を評価するための介入授業研究”では、児童の実験活動中、グラフや表の作成過程を児童自身が確認（メタ認知）できるような環境を整えておくことによって、予想の変容を自己の思考の変容として児童自身が知ることができることを、実際の授業の際の発言記録や児童の記述の分析によって明らかにした。同時に、指導者の立場からすれば、教授過程において随時児童の思考の変容を把握できることを意味している。グラフや表の作成過程を明示することによって、児童自身の思考とその児童をとりまく他者の思考までも指導者が把握できることを示している。本章では「メタ認知法」が科学的思考力を促進する教育的効果があること示し、理科教育学の分野に一石を投じている。

4-3. “科学研究成果の教材化とメタ認知能力育成をめざした手法の開発（介入授業研究）”では、2つの自然科学研究の成果を教材化し、これを用いた授業を行い、その教育的効果を授業前後の質問紙で調べメタ認知プロセスの授業への導入効果を探った。ナガサキアゲハの北上の理由や外洋棲ウミアメンボ類と淡水棲ウミアメンボ類のどちらが高温に強いのか？について、個人考察後とグループ議論後の2回、磁石付個人番号を黒板の2択のどちらかに張りつけるという、“メタ認知行為”を行った。授業後の質問紙での「答えの判断をした思考過程」について記述した生徒の割合は、“メタ認知行為”群のみ増加した。メタ認知法が科学的思考を促す上で有効であることを疫学的方法によって客観的に示した本研究は、科学教育学分野に確かな新知見を与えている。

5. 総合考察では、自然科学研究の最新の知見を加工して教材化し、そこに“メタ認知的手法”を合わせることで、科学的思考能力を育てる魅力ある理科授業の開発が可能であることをモデル事例として示している。本論文は、黒潮圏に生息するアメンボ類とりわけ「外洋棲ウミアメンボ類」の生態についての基礎研究成果の教材化を含んでおり、自然科学分野から理科教育分野への架け橋となる研究論文と言え、「黒潮圏科学」の発展に寄与するものと考えられる。

ふりがな	やまのうち たかし
氏名（本籍）	山之内 崇志（愛媛県）
学位の種類	博士（学術）
学位記番号	甲総黒博第12号
学位授与の要件	学位規則第4条第1項該当
学位授与年月日	平成26年3月24日
学位論文題目	異なる時空間スケールにおける河川の水生植物群落の成立機構
発表誌名	山之内崇志・石川慎吾（2011）高知県前田川における水生植物のフェノロジーと被度の変動. 水草研究会誌（95）：1-14  山之内崇志・石川慎吾（2011）水質および河川改修履歴とコウホネ属植物個体群の分布との関連性－高知県神田川における事例－. 保全生態学研究 16：169-179
	<p style="text-align: center;">審査委員 主査 教授 石川 慎吾 副査 教授 奥田 一雄 副査 教授 蒲生 啓司</p>

#### 論文の内容の要旨

水生植物は陸水生生態系の重要な構成要素である。近年、希少種の減少、絶滅や外来種の繁茂が問題となっている。問題の対処には分布や群落の形成といった基礎的な知識が不可欠であるが、特に河川の水生植物についてはそれらの知見が不足している。水生植物の分布は様々な物理化学的、生物的要因に影響されるが、要因同士が共相関を示すことが多く、評価が難しい。一方で、河川は攪乱が卓越するため、現存量の増加と減少のバランスも重要視されるが、動態に関する情報は特に不足している。さらに、河川の水生植物相は集水域間で異なることがしばしば指摘されるが、その影響は無視されがちである。本研究のねらいは、環境要因、動態、河川間の種組成の違いを統合し、河川における水生植物群落の成立を理解するための基礎的な枠組みをつくることである。2章以降では、環境要因に対する水生植物の出現範囲の確認、生理生態的特性による分布と環境要因の間の相関関係の意味づけ、群落動態の確認、経時変化における段階を推定した上での環境要因との関連性について議論する。最終章では、1) 各事例の群落の成立機構を明確化し、2) 環境軸と時系列上での位置づけを行い、3) そこから研究上で注意すべき問題点を明らかにする。

第2章では環境要因と水生植物の分布の関連性を研究する上での問題点について検討した。環境要因との関連性に対しては多変量解析がよく用いられるが、結果を解釈するためには、環境軸に対する水生植物の出現範囲を明らかにする必要がある。また、河川間における環境の偏りを、水生植物の観点から検討した研究例は見当たらない。そこで、高知県中部の複数の河川33地点263コドラートで調査し、水生植物の群落組成と環境要因との対応関係、河川間の環境および出現種の偏り

## 論文の内容の要旨

について検討した。DCA で解析した結果、環境条件は河川間でしばしば異なるだけでなく、同一河川内の環境が比較的均質である場合や、多様な環境を含む場合、また、多様である場合にも、多様性を示す環境要因（たとえば水質、底質）の組み合わせが河川によって異なるなど、複雑であった。出現回数の多かった水生植物 14 種の出現範囲を検討した結果、多くの種は各環境要因に対して幅広く出現し、しかも、出現範囲の大部分が重複した。一部の種は偏って出現し、ハゴロモモ、ベニオグラコウホネ、ナガエミクリの低 pH への偏向と、浮遊植物、浮葉植物およびハゴロモモの低流速への偏向には生態的な意義があると推定された。一方で、出現した河川数が少ないために偶然の偏りが疑われる事例もあった。群落には様々な優占種の組み合わせがあり、組成により区分することは困難であった。また、有意に共出現する組み合わせが多数みられたが、多くは 1 河川のみで確認されたための疑似相関だと考えられた。結論として、ほとんどの種が幅広い環境に生育可能であり、また、河川間で種の分布とともに環境要因も異なるため、それらの中に生態的意義のある相関関係を見出すことはきわめて困難であった。

第 3 章では pH に対して偏りを示した種として絶滅危惧種のコウホネ属植物に着目し、神田川において分布を規定する要因を検討した。神田川の 15 か所で水質を調査したところ、後背低地を流れる上流部と鏡川扇状地の扇端部を通過する中下流部とでは水質が異なった。一般に扇端部は湧水地帯となりやすく、現地でも湧水を確認したことから、湧水により水質が変化すると判断した。pH と R<sub>p</sub>H の比較から、中下流部では二酸化炭素（以下、CO<sub>2</sub>）過飽和であると推定された。古地図と空中写真の判読から、明治初期まで蛇行河川であった神田川は、1933・1948 年の間に直線化され、1980 年代にさらに改修されたことが確かめられた。コウホネ属植物は、CO<sub>2</sub> 過飽和であり、かつ、蛇行していた旧河道と直線化された河道の重複部分のうち、2 か所のみに残存していた。コウホネ属植物の分布は遊離炭酸（以下、CO<sub>2</sub>\*）が豊富とされる低 pH の水域に偏り、少なくとも一部の種は光合成炭素源を CO<sub>2</sub>\* のみに依存することが知られている。神田川では他県の生育地に比べると pH が高く生育に不適である可能性が指摘されていたが、CO<sub>2</sub> 過飽和による CO<sub>2</sub>\* 濃度の上昇が生育を保障していると考えられた。また、改修履歴も検討すべき課題であると思われた。現在の神田川では個体の新規加入が見られず、保全には有性生殖での増殖を促す条件を明らかにする必要があると考えられた。

第 4 章では日本産水生植物 83 分類群の炭素源を検討した。水生植物には、光合成に CO<sub>2</sub>\* しか使えない種と、CO<sub>2</sub>\* に加えて炭酸水素イオン（以下、HCO<sub>3</sub><sup>-</sup>）を利用できる種とが存在する。水域の pH が低いと CO<sub>2</sub>\*、高いと HCO<sub>3</sub><sup>-</sup> の存在比が増すため、水生植物の分布と pH との関連性は炭素吸収特性の違いによると考えられる。日本産水生植物では、光合成炭素源が明らかにされているものは少なく、分布と pH との関連性を検討する上での障害となっている。pH 推移実験により推定された CO<sub>2</sub> 補償濃度からは、83 分類群中 50 分類群が CO<sub>2</sub>\* のみを使用すると判断され、そのほとんどは両生植物であった。CO<sub>2</sub> 補償濃度が低い 33 分類群は、何らかの炭素濃集を行っていると考えられ、その多くは光合成速度が HCO<sub>3</sub><sup>-</sup> 濃度に影響されたことから、HCO<sub>3</sub><sup>-</sup> を使用していると判断された。これらの分類群には厳密な沈水植物と浮葉性ヒルムシロ属が含まれた。ま

## 論文の内容の要旨

た、これまで  $\text{CO}_2^*$ のみを使用するとされてきたフトヒルムシロとオヒルムシロも、きわめて弱いものの  $\text{HCO}_3^-$ を使用すると判断された。ミズオオバコは、 $\text{CO}_2$ 補償濃度は低いにもかかわらず光合成速度が  $\text{CO}_2^*$ のみに影響され、 $\text{HCO}_3^-$ の使用とは異なる炭素濃集機構を持つと考えられた。しかし、その機構までは明らかにできなかったため、ミズオオバコなど 7 分類群については判断を保留した。本研究により、既知の 23 分類群と判断を保留した 7 分類群を除く 53 分類群について新たに炭素源が明らかになった。

第 5 章では光合成に  $\text{CO}_2^*$ のみを使用するナガエミクリに着目し、生理的特性、群落の組成、分布と地形との関連性を検討した。第 1 章のデータに加え、新たに 3 か所で調査を行い、計 36 か所の群落を構成種の炭素源使用特性に基づき区分したところ、ナガエミクリが優占し  $\text{CO}_2^*$ のみを使用する種が特徴的に出現する群落、ナガエミクリは不在であるが  $\text{CO}_2^*$ のみを使用する種が出現する群落、 $\text{CO}_2^*$ のみを使用する種が出現しない群落に分けられた。96 地点で pH と RpH による  $\text{CO}_2$ 飽和状態の評価を、27 地点で溶存無機炭素濃度の測定を行った結果、ナガエミクリの生育地は流水、止水のいずれにおいても  $\text{CO}_2$ 過飽和であり、 $\text{CO}_2^*$ 濃度は最低でも 0.21 mM 以上であった。踏査と文献調査により、高知県中部の水生植物の生育地 206 地点のうち、扇状地の扇端部、大河川に隣接した埋没谷、海岸浜堤の後背湿地に位置する 11 地点で、ナガエミクリ群落を確認した。ナガエミクリ群落は、 $\text{CO}_2^*$ のみを使用する種で特徴づけられ、その生育環境は  $\text{CO}_2^*$ が欠乏しにくい  $\text{CO}_2$ 過飽和の湧水であったことから、湧水環境になりやすい立地に分布が偏ると考えられた。ナガエミクリ群落には絶滅危惧種が多く含まれ、その保全には湧水環境の維持が重要である。また、類似した環境を好む要注意外来種のハゴロモモに警戒が必要であること、地形との関連性が潜在的な生育地の評価に役立つ可能性を指摘した。

第 6 章では、沈水植物群落の動態を 4 年 3 か月にわたって追跡調査した。河川の水生植物の動態を長期的に追った研究は非常に少なく、基礎的なことも知られていない。調査地である前田川は、単純な河床地形と比較的均質な環境条件をもち、家庭排水の流入のため富栄養状態にある。ここに 12 個の永久コドラートからなる調査区を 3 か所設置し、原則として 10 日に 1 回の頻度で調査を行った。主要な沈水植物は、糸状藻類のほか、生育期間の終わりに殖芽を残して親株が枯死する疑似一年草 3 種と、親株が生存し翌年も生育する多年草 2 種であった。各分類群は、異なる経時的な変化を示した。糸状藻類は成長が非常に速いが降雨によって容易に流失し、結果として数日から数十日のスケールで激しく変動した。疑似一年草は、被度の年変動が大きく、また空間的な移動も大きかった。殖芽の移出入、出芽数、生残率および生長状況などの組み合わせにより変動すると考えられたが、種間で変動傾向が異なる原因は明らかにできなかった。多年草の被度変動はごく小さく、ほぼ一定かごくゆっくりと増加した。多年草の新規加入は疑似一年草に比べ圧倒的に少なく、そのため拡大が遅いと考えられた。前田川では増水攪乱による維管束水生植物の流失はほとんど起こらない。そのため、おそらく将来的には多年草であるセキシウモが優占し安定するが、拡大速度が非常に遅く、現状では疑似一年草が卓越すると推定された。

## 論文の内容の要旨

第 7 章では、第 6 章で想定された「安定した」と思われる群落を対象とし、環境条件との対応関係の検出を試みた。2008 年から 2010 年の観察でおおよそ安定していると判断された中筋川のオオカナダモとササバモの群落を対象とし、縦断地形、横断地形、流速、水深、底質と両種の分布との関連性を検討した。水深は両群落ともほぼ同じで有意な差はなく、流速はササバモ群落でやや速かったが、オオカナダモも生育可能な囲内内であった。また、両群落とも粘土質から礫質まで多様な底質から出現した。流水断面積は寄り州・中洲の発達のため両群落間で明瞭に異なり、ササバモ群落ではオオカナダモ群落のおよそ半分であった。調査区内では流量の変化はほとんどないため、流水断面積が狭いほど流速が速いと考えられる。流水断面積の差は平水位より 1 m の高さまで明瞭であり、増水時の速い流速によりオオカナダモ群落の成立が阻害されると推定された。しかし、実際にそれだけでオオカナダモが完全に排除されるか、また、なぜ流速が遅い地点にササバモが見られないのかは明らかにできなかったが、可能性として、種間競争の影響が考えられた。寄り州・中洲は、河川管理上は除去の対象とされており、これによる環境の均質化はオオカナダモの過繁茂をもたらす危険性がある。

第 8 章では、各章で得られた結果に基づき、河川の水生植物群落の成立機構を理解するための枠組み作りを目指す。メタ群集理論は、局所群集とそれらの集合（メタ群集）での移動分散が、局所群集とメタ群集それぞれに与える影響を説明する理論であり、群集の成立機構として中立モデル（ランダムな侵入、死亡のバランスにより機会的に決まる）、種選別（環境条件の違いによって種が選択される）、パッチ動態（種の分散能力と競争能力にトレードオフがある）、集団効果（個体数の多い環境からの移入により不適な環境でも個体群が維持される）の 4 つのパラダイムにまとめられる。著者の一連の研究はメタ群集を明確に認識して行ったものではないが、2, 3, 5, 6, 7 章の結果について、メタ群集理論パラダイムを援用し、主たる群落成立機構の明確化を試みた。3, 5 章では、炭素源の状態という環境条件によって  $\text{CO}_2^*$ のみを使用する種の分布が規定されており、7 章も立地間の流速の違いによって種がすみわけていた。これらはいずれも立地間の環境条件の違いが著しく、それに対応する種の特性的違いも大きいと思われ、種選別パラダイムで説明できる。第 6 章では、調査地の環境条件はほぼ均一であり、移動の激しい疑似一年草と、移動が極めて遅い多年草とで成り立っていた。この事例はメタ群集のパラダイムへの当てはめが難しく、疑似一年草だけを見ると機会的な決定であるように見え、流路をパッチの集合とみなすと、疑似一年草と多年草の間でパッチ動態的にふるまうように思われる。将来的に多年草群落で安定するとすれば、種選別の一過程ともとることができる。殖芽の移出入を考慮した場合、集団効果の影響があるかもしれない。すなわち、経時的な変化の途中である 6 章の事例では、対象の時間的・空間的な切り取り方の違いで解釈が変わると思われた。本研究では、集団効果と思われる事例はなかったが、水生植物についての既存研究の中には、集団効果による説明がなされた報告もある。

次に、環境傾度による解釈に、攪乱後の裸地から安定状態までの植生の「経時変化」の軸を加えた概念モデルを使い、これらの事例の位置づけを試みた。図 1 にその概念図を示す。立方体の上下の面は、植物の生長に影響する複数の環境勾配からなる仮想的な立地環境を、縦軸は裸地から安定状態までの経時的な植生の変化を表す。対象とする流程に供給される種の質的、量的な組成を種プールとする。種プールから裸地に侵入が起こる当初は、それぞれの種の基本ニッチの範囲で定着、生長できる。種間競争をへて安定状態に達した時には、種プールの組成に応じて実

## 論文の内容の要旨

現ニッチが現れる。A, B, C の太い矢印は、それぞれ調査者の視線を表す。野外では経時変化の軸上のさまざまな段階が観察できるが、これを考慮せずに環境要因との関連性の抽出を試みた場合 (A の視点)、基本ニッチが際立って特徴的な種と、それを特徴づける要因のみが検出可能かもしれない。しかし、基本ニッチが大きく重複する種については、環境要因との関連性の検出は難しいであろう (2, 3, 5 章に相当)。安定状態に達していない群落の動態に着目した場合 (B の視点)、植生は加入や攪乱など、多くの要因により異なる動態を示す可能性がある。このような場合、動態の把握とそれに影響する要因の解明が重要であろう (6 章に相当)。ある立地環境において、おおむね安定状態に達した群落では、種プールの構成種のうち、その立地条件において最も有利な種の優占群落が成立すると考えられる。この場合は実在ニッチが検出されるであろう (7 章に相当)。ただし、実現ニッチは種プールの構成種によっては変化することが予想されるため、流程間や河川間で種プールが異なる場合は、同じ環境条件で安定状態に達していても、同じ群落にならない可能性がある。

この概念モデルと一連の結果からは、調査者が空間的スケールおよび時間スケールをどのように切り取るかによって、群落の主たる成立機構が変わる可能性が見出される。これらの可能性を踏まえると、河川における水生植物群落の成立機構を研究するアプローチとして、以下の 3 つが重要であると考えられる。1) 時間スケールの切り取り方を決める上で、群落の動態と経時変化の把握が必要である。これらは研究例が少なく、不明な点が多い。分類群によって変動、変化する時間スケールが異なる可能性がある。環境条件が動態に与える影響の情報も乏しく、解明が望まれる。2) 調査対象とする空間的なスケールによって、得られる環境の幅および種プールの組成が異なる。種プールは群落の種組成を規定するのみならず、動態に影響を与える可能性や実在ニッチに影響する可能性がある。また、環境条件と種プールは疑似相関を示すかもしれない。3) 種生態学的特性についての知見は、得られた結果を正しく解釈するには不可欠である。共相関を示す要因からの因果関係の抽出や、出現地点数が少ない希少種の分布傾向の評価を可能とすることが期待される。

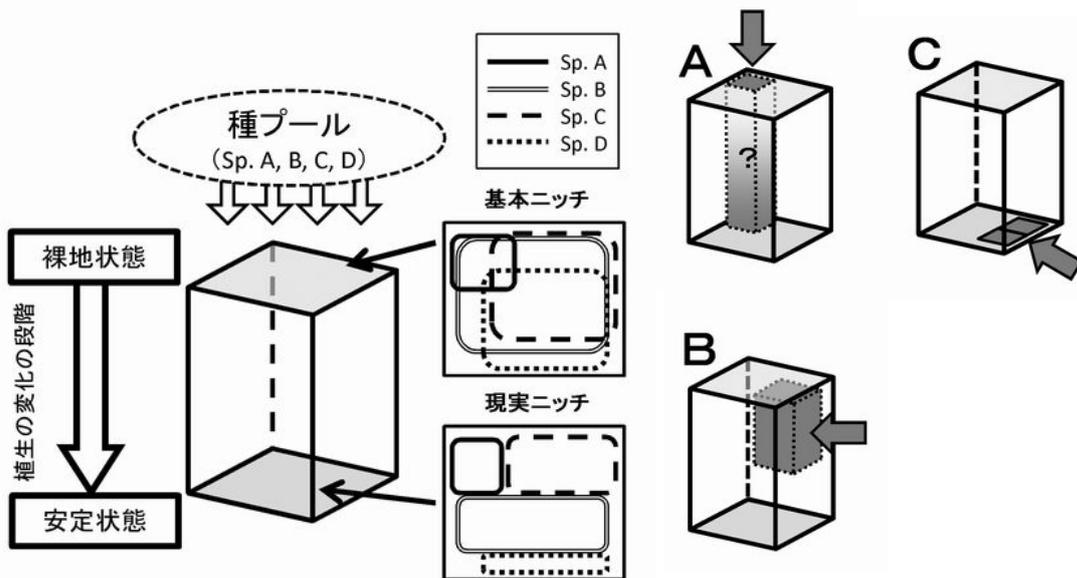


図 1. 環境傾度および裸地から安定状態までの経過時間を軸とした概念図

## 論文審査の結果の要旨

水生植物は陸水生生態系の重要な構成要素であるが、近年、希少種の減少、絶滅や外来種の繁茂が問題となっており、生物多様性の保全の観点からも重要な研究課題である。これらの問題に対処していくためには、水生植物の分布や群落の形成といった基礎的な知見の蓄積が不可欠であるが、特に河川の水生植物についてはそれらの知見が不足している。水生植物の分布は水質や底質などさまざまな物理的・化学的要因に影響を受け、それに加えて光をめぐる競争などの生物的要因にも影響されるが、要因同士が共相関を示すことが多く、それらを適正に評価することが困難である。一方、河川は洪水や増水による攪乱が卓越する場所であるため、群落の現存量の増加と減少のバランスがどのように保たれているかを知ることが重要であるが、群落動態に関する情報は特に不足している。さらに、河川の水生植物相は集水域間で異なっていることが多く、種類相の違いが群落の形成機構にどのように影響するかという観点での研究も極めて少ない。本学位論文の中核は、環境要因、動態、河川間の種組成の違いを総合的に評価し、河川における水生植物群落の成立機構を理解するための基礎的な枠組みを構築したことである。

学位論文は全体が8つの章で組み立てられている。第1章は序論で、第2章から第7章までが具体的な調査に基づく研究成果、そして第8章で河川の水生植物群落の成立機構を時空間スケールの違いに着目して、1) 各事例の群落の成立機構を明確化し、2) 環境軸と時系列上での位置づけを行い、3) そこから研究上で注意すべき問題点を明らかにするという視点で総合的に考察している。なお、第3章は申請者が参考論文としている学会誌等掲載論文の内容である。以下に、各章における内容を概説する。

第2章では環境要因と水生植物の分布の関連性を研究する上での問題点について検討している。環境要因との関連性に対しては多変量解析がよく用いられるが、結果を解釈するためには、環境軸に対する水生植物の出現範囲を明らかにする必要がある。そこで、高知県中部の複数の河川33地点263コドラートで調査し、水生植物の群落組成と環境要因との対応関係、河川間の環境および出現種の偏りについて検討している。その結果、ほとんどの種が幅広い環境に生育可能であり、また、河川間で種の分布とともに環境要因も異なるため、それらの間に生態的に意味のある相関関係を見出すことは極めて困難であることを示している。

第3章ではpHに対して偏りを示した種として絶滅危惧種のコウホネ属植物に着目し、高知市神田川において分布を規定する要因を検討している。コウホネ属植物の分布は遊離炭酸（以下、 $\text{CO}_2^*$ ）が豊富とされる低pHの水域に偏り、少なくとも一部の種は光合成炭素源を $\text{CO}_2^*$ のみに依存することが知られている。神田川では他県の生育地に比べるとpHが高く生育に不適である可能性が指摘されていたが、 $\text{CO}_2$ 過飽和による $\text{CO}_2^*$ 濃度の上昇が生育を保障していることを明らかにした。

第4章では日本産水生植物83分類群の光合成炭素源を検討している。日本産水生植物では、光合成炭素源が明らかにされているものは少なく、分布とpHとの関連性を検討する上での障害となっているが、pH推移実験により推定された $\text{CO}_2$ 補償濃度からは、83分類群中50分類群が $\text{CO}_2^*$ のみを使用すると判断され、そのほとんどは両生植物であった。 $\text{CO}_2$ 補償濃度が低い33分類群は、何らかの炭素濃集を行っていると考えられ、その多くは光合成速度が $\text{HCO}_3^-$ 濃度に影響されたことから $\text{HCO}_3^-$ を使用していると判断するなど、既知の23分類群と判断を保

## 論文審査の結果の要旨

留した 7 分類群を除く 53 分類群について新たに光合成炭素源を明らかにしている。

第 5 章では光合成に  $\text{CO}_2^*$ のみを使用するナガエミクリに着目し、生理的特性、群落の組成、分布と地形との関連性を検討している。踏査と文献調査により、高知県中部の水生植物の生育地 206 地点のうち、扇状地の扇端部、大河川に隣接した埋没谷、海岸浜堤の後背湿地に位置する 11 地点で、ナガエミクリ群落を確認した。ナガエミクリ群落は、 $\text{CO}_2^*$ のみを使用する種で特徴づけられ、その生育環境は  $\text{CO}_2^*$ が欠乏しにくい  $\text{CO}_2$  過飽和の湧水であったことから、湧水環境になりやすい立地に分布が偏ると推察している。ナガエミクリ群落には絶滅危惧種が多く含まれ、その保全には湧水環境の維持が重要であり、さらに、地形との関連性が潜在的な生育地の評価に役立つ可能性を指摘したことは、今後、水生の絶滅危惧種の保全活動を進めていくうえで重要な知見である。

第 6 章では、水生植物群落の動態を追跡調査した結果を示している。高知市前田川に 12 個の永久コドラートからなる調査区を 3 カ所設置し、4 年 3 カ月にわたって、10 日に 1 回の頻度で調査を行っている。河川の水生植物の動態を長期的に追跡した研究は非常に少なく、基礎的なことも不明なことが多いので、この研究は極めて貴重な成果である。主要な水生植物は、糸状藻類、疑似一年草 3 種および多年草 2 種であった。疑似一年草は、被度の年変動と空間的な移動が大きく、殖芽の移出入、出芽数、生残率および成長状況などの組み合わせにより変動することを示した。多年草の被度の変動は極めて小さく、ほぼ一定か、ゆっくりと増加することを明らかにしたが、前田川では増水攪乱による維管束水生植物の流失はほとんど起こらないため、将来的には多年草が優占して安定することを推定している。しかし、拡大速度が非常に遅いので現状では疑似一年草が卓越すると推定している。

第 7 章では、第 6 章で想定された「安定した」と思われる群落を対象とし、環境条件との対応関係の検出を試みている。2008 年から 2010 年の観察でおおよそ安定していると判断された中筋川のオオカナダモとササバモの群落を対象とし、縦断地形、横断地形、流速、水深、底質と両種の分布との関連性を検討した結果、両種の優占する場所の流水断面積が異なることを明らかにし、増水時の速い流速によりオオカナダモ群落の成立が阻害されると推定している。オオカナダモとササバモの流速に対するすみわけの詳細な機構は明らかにされていないものの、種間競争の影響がもっとも可能性が高いことを示している。

第 8 章では、各章で得られた結果に基づいて、河川の水生植物群落の成立機構を理解するための枠組みを、メタ群集理論を援用して示している。メタ群集理論は、局所群集とそれらの集合（メタ群集）での移動分散が、局所群集とメタ群集それぞれに与える影響を説明する理論であり、群集の成立機構として、①中立（ランダムな侵入、死亡のバランスにより機会的に決まる）、②種選別（環境条件の違いによって種が選択される）、③パッチ動態（種の分散能力と競争能力にトレードオフがある）、④集団効果（個体数の多い環境からの移入により不適な環境でも個体群が維持される）の 4 つのパラダイムにまとめられる。3、5 章では、炭素源の状態という環境条件によって  $\text{CO}_2^*$ のみを使用する種の分布が規定されており、7 章も立地間の流速の違いによって種がすみわけていたことから、これらはいずれも立地間の環境条件の違いが著しく、それに対応する種の特性の違いも大きいことを根拠にして、種選別パラダイムで説明している。第 6 章では、調査地の

## 論文審査の結果の要旨

環境条件はほぼ均一であり、移動の激しい疑似一年草と、移動が極めて遅い多年草とで成り立っており、この事例はメタ群集のパラダイムへの当てはめが難しいと判断している。その理由は、経時的な変化の途中である 6 章の事例では、対象の時間的・空間的な切り取り方の違いで解釈が変わるからである。すなわち、疑似一年草だけを見ると機会的な決定であるように見え、流路全体をパッチの集合体とみなすと、疑似一年草と多年草の間でパッチ動的にふるまうように見える。将来的に多年草群落で安定するとすれば、種選別の一過程ともとることができる。殖芽の移出入を考慮した場合には集団効果の影響があるかもしれない、というように解釈が変わってくる。

本論文では、集団効果と思われる明確な事例は取り扱われていないが、上述の理論を援用しながら、水生植物群落の成立機構を、環境傾度による解釈に加えて、攪乱後の裸地から安定状態までの植生の経時変化の軸を加えた概念モデルを使って以下のように解釈を試みている。

対象とする流程に供給される種の質的、量的な組成を種プールとし、種プールから裸地に侵入が起こる当初は、それぞれの種の基本ニッチの範囲で定着し、成長できる。種間競争を経て安定状態に達した時には、種プールの組成に応じて実現ニッチが現れる。野外では経時変化の軸上のさまざまな段階が観察できるが、これを考慮せずに環境要因との関連性の抽出を試みた場合、基本ニッチが際立って特徴的な種と、それを特徴づける要因のみが検出される可能性が高い (3, 5 章に相当)。しかし、基本ニッチが大きく重複する種については、環境要因との関連性の検出は難しいと考えられる (2 章に相当)。安定状態に達していない群落の動態に着目した場合、植生は加入や攪乱など、多くの要因により異なる動態を示す可能性がある。このような場合、動態の把握とそれに影響する要因の解明が重要であろう (6 章に相当)。ある立地環境において、おおむね安定状態に達した群落では、種プールの構成種のうち、その立地条件において最も有利な種の優占群落が成立すると考えられる。この場合は実現ニッチが検出されるであろう (7 章に相当)。ただし、実現ニッチは種プールの構成種によっては変化することが予想されるため、流程間や河川間で種プールが異なる場合は、同じ環境条件で安定状態に達していても、同じ群落にならない可能性がある。

以上のように本学位論文は、今まで包括的な解釈がなされていなかった河川における水生植物群落の成立機構を、異なる時空間的スケールにおいて明らかにしている。このことは、申請者の優れたオリジナリティーを示すものであり、高く評価できる。また、本学位論文は、温帯地域の低湿地の生態系と生物多様性の保全にとって極めて重要な知見を多く含んでおり、人間と自然との共生や生物多様性を保全しながら持続的社會を作り上げていくという、黒潮圏科学の目指す目標に密接に関連する内容を含むと考えられる。

<p>ふりがな 氏名（本籍） 学位の種類 学位記番号 学位授与の要件 学位授与年月日 学位論文題目</p> <p>発 表 誌 名</p>	<p>わだ かい 和田 快（京都府） 博士（学術） 甲総黒博第13号 学位規則第4条第1項該当 平成26年3月24日 Epidemiological study on the relationship between PTSD symptoms and sleep habits, meal habits, and mental health of people who suffered natural disasters (大規模自然災害被災者の心的外傷後ストレス障害、睡眠健康、食習慣、精神衛生についての疫学的研究)</p> <p>Kai WADA, Milada KREJCI, Yoko OHIRA, Miyo NAKADE, Hitomi TAKEUCHI, Tetsuo HARADA(2009)Comparative study on circadian typology and sleep habits of Japanese and Czech infants aged 0-8years. <i>Sleep and Biological Rhythms</i>, 7:218-221</p> <p>和田 快、中出美代、竹内日登美、野地照樹、原田哲夫（2010）高知県内の運動部所属大学生への朝食・光曝露介入が介入中の睡眠・精神衛生に及ぼす影響、日本生理人類学会誌、15(4)：15-21</p> <p>Kai Wada, Shota Yata, Osami Akimitsu, Milada Krejci, Teruki Noji, Miyo Nakade, Hitomi Takeuchi, Tetsuo Harada(2013) A tryptophan-rich breakfast and exposure to light with low color temperature at night improve sleep and salivary melatonin level in Japanese students. <i>Journal of Circadian Rhythms</i>,11:4</p> <p style="text-align: right;">審査委員 主査 教授 原田 哲夫 副査 准教授 伊谷 行 副査 准教授 久保田 賢</p>
--	--

論文の内容の要旨

本研究は以下4つの章で構成されている。

第1章：

- 1：子ども達の睡眠習慣や生活リズムの日-チェコ比較
- 2：トリプトファン-セロトニン-メラトニン系の検証のためのフィールド介入実験

## 論文の内容の要旨

### 第2章：

阪神・淡路大震災（1995年1月17日発生）未成年時被災者の心的外傷後ストレス障害（PTSD）、睡眠習慣、クロノタイプについての疫学的研究

### 第3章：

リーフレット：“早寝、早起き、朝ごはん”で3つのお得—被災者のみなさんへのメッセージ”を用いた、阪神・淡路大震災未成年時被災者を対象としたフィールド介入実験

### 第4章：

フィリピン地滑り災害（2006年11月29日発生）被災者のPTSD、睡眠習慣、食習慣、精神衛生についての疫学的研究

## 第1章（本学位論文 p. 14 ~ p. 46 ; Wada et al., 2009; 和田ら, 2010; Wada et al., 2013)

急速な24時間型社会への移行に伴って、日本の子ども達を取り巻く環境は劇的に変化し、深刻な夜型化が進行している。特に、夜間・就寝前の携帯電話やTVゲームの使用、深夜番組の視聴、24時間営業店舗の深夜利用などの時に曝露する短波長光が体内時計に作用する力は大きく、睡眠健康を害し、夜型化が増長されるとされる。一般に夜型の者ほど自律神経系の活動リズム振幅が小さく、“内的脱同調”が引き起こされやすいとされている。内的脱同調は学習意欲や集中力の低下やうつ症状をもたらす。

このような状況を客観的に把握するために、朝型社会と呼ばれる中欧のチェコ共和国（0-8歳児627名）と日本（697名）の2国間で、子ども達の睡眠習慣や生活リズムの比較を目的とした質問紙調査を実施した。

その結果、日本の子ども達はチェコの子ども達よりも、就床時刻が1.3時間遅く（ $p < 0.001$ ）、睡眠時間は1時間短かった（ $p < 0.001$ ）。また、日本では保護者が“子どもの時間”と“大人の時間”を分けずに生活することで、その子ども達が保護者の影響を受けて夜型となる。一方、チェコでは保護者と子ども達の生活リズムは異なっており、チェコの保護者は大人の時間と子ども達の時間を明確に区別し、子ども達への睡眠指導が徹底されている実態が浮かび上がった。日本ではチェコに比較して幼児への家庭での睡眠指導が不十分であることが夜型化の原因の一つと考えられ、自律神経など基本的生理機能が発達する幼少期の生活リズムの夜型化と睡眠不足は彼らの正常な脳と体の成長を脅かす可能性があることが考えられた。

上記及びその他の質問紙研究によって、「朝食でのトリプトファンを含むタンパク源やビタミンB6高含有食材の摂取とその後の太陽光曝露が高いセロトニンやメラトニンの合成分泌を促し、天然の同調因子（両物質）として朝型化をもたらす、抗うつ剤（セロトニン）や入眠剤（メラトニン）として子どもたちの精神衛生・睡眠健康の向上をもたらす。」という仮説の間接的検証がなされている。しかし、質問紙調査ではその直接的検証（因果関係の実証）は難しい。そこでこれら一連の仮説検証の一端として運動部所属の大学生達を対象に、倫理的配慮から睡眠健康や精神衛生を改善する方向の介入フィールド実験を行った。

2008年に83名の運動部に所属する大学生を対象に行った実験では、G1: 睡眠日誌の記入のみ、G2: タンパク源を含む朝食摂取、G3: G2の内容+摂取後の太陽光曝露の3グループに被験者を分類し、1

## 論文の内容の要旨

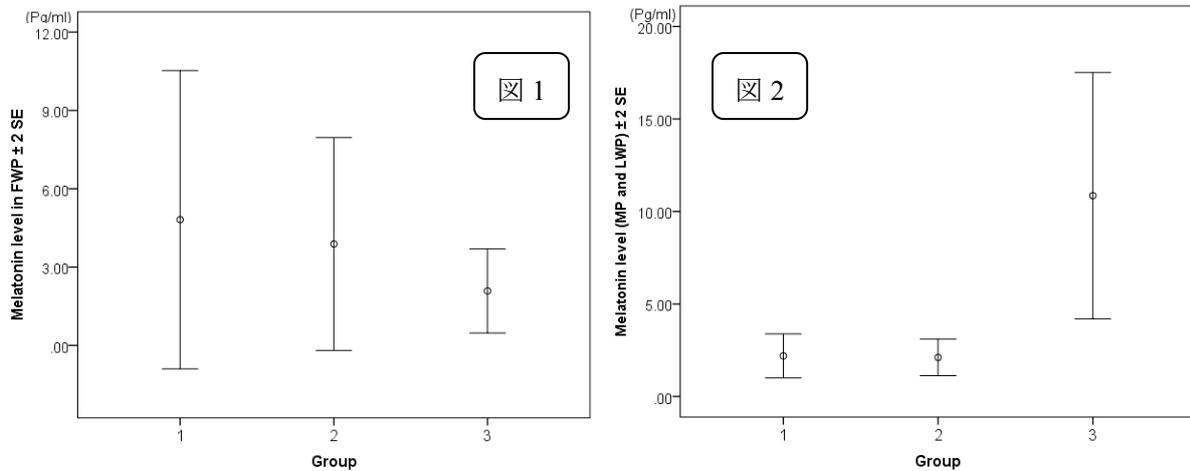
ヶ月間睡眠日誌の自記を依頼した。

その結果、G3 では最終週にかけて、就床時刻と起床時刻が位相前進する傾向が見られた（就床： $p=0.100$ ；起床： $p=0.070$ ）。また、高取組実践者ほど1日の気分や寝起きの気分が改善される有意な効果やその傾向が見られた（1日の気分： $r=0.515$ ,  $p=0.041$ ；寝起きの気分： $r=0.713$ ,  $p=0.001$ ）。

続いて、2010年には94名の大学生アスリートを対象に、G1：睡眠日誌のみ、G2：睡眠日誌とタンパク源を含む朝食摂取とその後の太陽光曝露、G3：G2の内容＋夜間非白色系蛍光灯曝露の3群を用いて、1ヶ月間の介入中に見られるその効果を検証した。各グループ10人ずつ、計30人に唾液採取キットを配布し、介入前夜、中日、最終日3点で唾液採取を依頼した。

介入前はグループ間に有意差の無かった唾液中メラトニン濃度が（ $p=0.63$ ）（図1）、介入を経て、G1、G2に比べ、G3のみ有意に高くなっていった（G1 versus G3： $p=0.018$ ；G2 versus G3： $p=0.011$ ）（図2）。更に、G3において“高実施群”は“低実施群”に比べ、介入中点での唾液中メラトニン濃度が高い傾向が見られた（ $p=0.071$ ）。

これらのフィールド介入実験によって、(1). 朝食でのトリプトファンとビタミンB6含有食材摂取、(2). 朝食後の太陽光曝露、(3). 夜間の非白色系（オレンジ色）光曝露の3つの介入が、松果体での夜間のメラトニン分泌を促進する強力な方法になりうることが示された。



## 第2章（本学位論文 p. 47~ p. 61）

1995年1月17日、6434名の命を奪った阪神・淡路大震災が起こり、すでに18年の月日が流れた。当時、被災者に残る大きな心の障害として、PTSD（Post Traumatic Stress Disorder：心的外傷後ストレス障害）という言葉がマスコミなどでも大きく取り上げられ、災害が残す物理的ではない傷跡についての認知も広がってきた。PTSDは自然災害被災者が訴える精神的症状の中で最も高頻度に報告される。大きな災害と精神疾患、更にはその他の深刻な身体疾患には強い関係性があり、良い生活リズムの獲得や、適切な睡眠習慣の維持が、精神的ダメージの軽減に効果的である可能性が高いと多くの先行研究は議論している。しかし、時間生物学や睡眠科学の基礎に立った、被災者の睡眠健康やクロノタイプ、精神衛生についての疫学的実態把握や効果的な健康増進を目指した介入研究はほとんどない。成人後に阪神淡路大震災に被災した研究協力者を対象として、PTSDとクロノタイプや睡眠健康の関係把握を目的とした先行研究によると、深刻な被害を受け、今なお重度の精神的ダメージが残る

## 論文の内容の要旨

被災者は、夜型で睡眠の質が低いと報告している (Kuroda et al., 2013)。しかし、未成年時被災者を対象とした研究は行われていない。

そこで、兵庫県内の専門学校生 275 名 (19-37 歳、平均 21.9 歳) を対象に、年齢、性別などの基本項目、起床・就床時刻などの睡眠習慣に関する質問、睡眠の質に関する質問、簡易型朝型—夜型質問紙、改定出来事インパクト尺度 (Impact of Event-Revised: IES-R) で構成される総合質問紙を用いて、PTSD 症状と被災者の生活リズムや睡眠習慣の関係を把握するための疫学調査を行った (2012 年 3 月)。

IES-R 得点において PTSD 症状があるとされる 25 点以上を、55 名 (20.8%) の研究協力者が記録した。高心的外傷群 (HDG) は低心的外傷群 (LDG) よりも有意に睡眠の質が悪かった ( $p < 0.001$ ) (図 3)。睡眠の質と IES-R 得点の間に有意な相関関係 (睡眠の質が良い程 PTSD 症状が軽くなる) が認められたが ( $p < 0.001$ )、クロノタイプと IES-R 得点の間に有意な関係はなかった ( $p = 0.710$ )。また、心的外傷度に関わらず、朝型の者ほど睡眠の質が良いという有意な相関関係があった (HDG:  $r = -0.420$ ,  $p = 0.002$ ; LDG:  $r = -0.304$ ,  $p < 0.001$ )。

被災から 17 年後にも関わらず、2 割もの研究協力者に PTSD 症状が残っており、先行研究と同様、PTSD 症状を持つ被災者は質の良い睡眠の獲得が困難であることが示唆された。クロノタイプと PTSD 症状の深刻さとの間に、直接の有意な関係 (朝型であるほど PTSD 症状が軽減されている等) は見られなかったが、朝型であるほど睡眠の質は良くなるという有意な相関関係は見られた。このことは、朝型で規則的な生活が良質の睡眠の獲得を介し、間接的に PTSD 症状の軽減につながりうることを暗示している。

### 第 3 章 (本学位論文 p. 62~ p. 76)

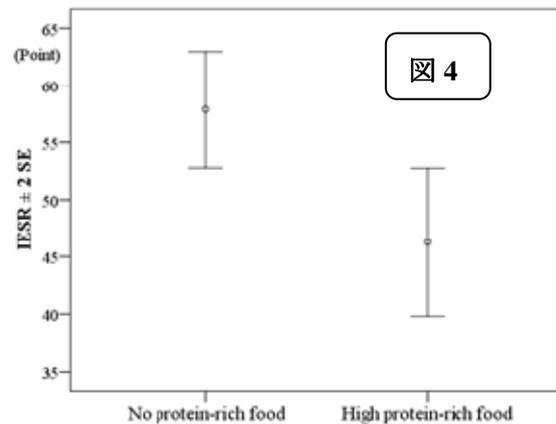
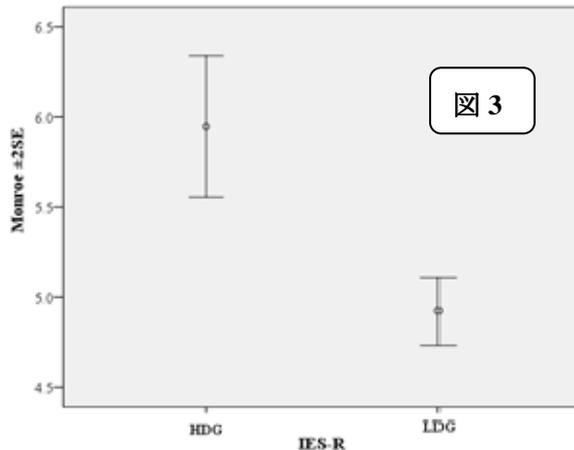
そこで、96 人の兵庫県内の専門学校生を対象に、睡眠日誌と 5 つの取組の効果と方法を記したリーフレット「早ね、早起き、朝ごはん 3 つのお得! -被災者の皆さんへのメッセージ-」を用いたフィールド介入実験を行った (2012 年 11、12 月)。被験者には以下 5 つの取組の実施を要請し、その取組結果と共に睡眠日誌への毎日記を依頼した (21 日間)。(1). 早朝の太陽光曝露、(2). 朝食でのタンパク源食材摂取、(3). 朝食後の太陽光曝露、(4). 夜間 (日没後) の TV 視聴制限、(5). 夜間 (日没後) の白色系蛍光灯曝露制限。介入前と、1 または 2 カ月後に上記把握調査と同様の総合質問紙調査を行い、介入期間中の取組の効果を検証した。

介入前に IES-R 得点が 25 点以上を記録した者は 1 人であった。その者の介入前後の総合睡眠健康度を比較したところ、良化の傾向を示した ( $p = 0.052$ )。その他の被験者は介入後有意に朝型化し ( $p = 0.045$ )、入眠潜時が短くなっていた ( $p = 0.045$ )。

介入前の調査で高心的外傷者とされたのは 1 名であったことから、介入期間中の取組による PTSD 軽減効果を検証することは難しかった。一方、それ以外の者は 21 日間の介入によって有意に朝型化し、睡眠の質の向上を示した。また、同震災の成人後被災者を対象に、同様に朝型で規則的な生活への介入を促すことで PTSD 症状の軽減を試みた先行研究によると、リーフレットを用いたこのような介入が被災者の PTSD 症状の軽減に効果的であると議論している (Kuroda, Wada et al., unpublished)。こ

## 論文の内容の要旨

これらのことは、未成年時に被災しなお強い PTSD 症状に苦しむ被災者にとって、食事と光環境の調整を通じて規則的な朝型生活をもたらす取り組みが、その症状の緩和に有効である可能性を示唆している。



### 第4章（本学位論文 p. 77 ~ p. 96）

2006年11月29日、台風“Reming”の大雨を原因とする地滑り災害がフィリピン共和国アルバイ州を襲った。死者・不明者併せて約1000名と、被害は大規模に渡り、多くの人が家や土地を失った。これまでの自然災害後に行われた調査によると、PTSD症状を訴える被災者の割合の推定にはかなりのばらつきが存在する。また、よく報告されるPTSDのリスク要因として、女性、高齢、低教育、被害の大きさ、家族・近い友人の喪失、財産の喪失、被災中の恐怖感、トラウマ経験の回数、社会的支援の不足、被災前の精神的・心理的障害などが挙げられる。しかし、食習慣とPTSD症状の関係に焦点をあてた研究は見当たらない。そこで第一に、地滑り災害から6年後の被災者に残るPTSD症状の割合を推定することを目的とし、第二にPTSD症状と関わりの深いリスク要因のうち、特に朝食の内容との関係を検証することを目的とし、疫学調査を実施した。

2012年12月、フィリピンのアルバイ州にある2村でインタビューによる質問紙調査を行った。選ばれた2村は直接の被災村と政府設定の復興住宅再定住村であった。村民109人にインタビューを行い、回答者のうち、年齢が20-69歳の88人を分析に用いた。質問紙は年齢、性別などの基本項目、起床・就床時刻などの睡眠習慣に関する質問、睡眠の質に関する質問、朝型—夜型質問紙、改定出来事インパクト尺度（IES-R）、食習慣・朝食の内容に関する質問、精神衛生に関する質問、WHO-QOL（世界保健機構策定生活質調査質問紙）（BREF）で構成された。

その結果、80人（90.9%）がIES-R得点で25点を超えた。高いIES-R得点（重いPTSD症状）との相関関係は、高い年齢（ $r=0.278$ ,  $p=0.009$ ）、悪い睡眠の質（ $r=0.212$ ,  $p=0.048$ ）、悪い精神衛生度（ $r=-0.449$ ,  $p<0.001$ ）との間にあったが、クロノタイプとの間には見られなかった（ $r=-0.075$ ,  $p=0.486$ ）。朝食内容とIES-R得点との有意な関係（ $p=0.006$ ）（図4）は、共分散分析法（ANCOVA）において、年齢、睡眠の質、夕食の規則性、家族の喪失を共変量に入れても有意差は消えなかったが、精神衛生を入れると消えた（ $p=0.125$ ）。

## 論文の内容の要旨

先行研究より高い 90%の割合で PTSD 症状が見られた。IES-R 質問紙は診断ツールではないという限界があるが、この結果は 6 年後にも深刻な精神的ダメージに苦しむ被災者が数多く存在し、様々な社会的支援の必要性を示している。また、朝食で高タンパク質含有食材非摂取者は摂取者に比べ、PTSD 症状が深刻であり、この関係は精神衛生以外の他の疑われる要因変数を經由しないことが示された。

このことから一つのメカニズムとして、朝食でのタンパク質摂取が日中のセロトニン合成を促進し、その抗うつ効果などによって日中の精神衛生向上をもたらす PTSD 症状の緩和が期待できる。

日々の生活において、朝食でタンパク源を摂取しその後太陽光曝露を行うことにより、被災者が PTSD 症状を軽減できる可能性が示された。

### 結語

「(1). 朝食でのトリプトファンとビタミン B6 摂取、(2). 朝食後の太陽光曝露、(3).夜間の白色光曝露制限の 3 つの介入によって、日中のセロトニン生成と夜間のメラトニン生成を促進し、人々の朝型化を促し、精神衛生を改善する」

本研究ではこの仮説の検証、そしてその結果を用いて応用の可能性を探求した。大学生アスリートを対象とした介入フィールド実験によってこの仮説は支持され、大規模自然災害被災者を対象とした疫学調査の実施にいたった。そして、その PTSD 症状の軽減にとっても有用であることが暗示される結果が得られた。

トリプトファン—セロトニン—メラトニン仮説は、近年幾つかの実験に基づく研究によって、その確かさが証明されつつある。本研究では新たに、朝食とその後の太陽光曝露、夜間の白色光非曝露の“総合的な効果”を示した。

また、本研究（フィリピン地滑り被災災害に関する）で示した PTSD 症状と朝食内容の関係（タンパク源摂取の方が非摂取者よりも PTSD 症状が有意に軽い）の結果も興味深い。多くの先行研究によって、PTSD 症状の深刻化のリスク要因として様々挙げられているが、朝食内容との関係を示したものはない。他のリスク要因を網羅することや、PTSD 症状の正確な診断を行うことなど、課題は多いが、長年深刻な PTSD 症状に苦しむ被災者にとって、症状を軽減させうる可能性を示せたことは非常に有意義であると考えられる。

セロトニンは天然の抗うつ剤として、メラトニンは天然の睡眠剤として、人々の朝型化と精神衛生の向上に寄与する。また、食事摂取と光環境という要素は私たちの普段の生活にとって大変身近で、その調整も比較的容易である。そのため、セロトニンとメラトニン生成を促進する 3 つの介入[(1). 朝食でのトリプトファンとビタミン B6 摂取、(2). 朝食後の太陽光曝露、(3). 夜間の白色光曝露制限] は、学生アスリートや自然災害被災者だけでなく、24 時間型社会に生きる我々すべてにとって有用なものであるかもしれない。

## 論文審査の結果の要旨

本研究は以下4つの章で構成されている。

第1章：-1：子ども達の睡眠習慣や生活リズムの日-チェコ比較

-2：トリプトファン-セロトニン-メラトニン代謝系の検証のためのフィールド介入実験

第2章： 阪神・淡路大震災(1995年1月17日発生)未成年時被災者の心的外傷後ストレス障害(PTSD)、睡眠習慣、クロノタイプについての疫学的研究

第3章： リーフレット：“早寝、早起き、朝ごはん”で3つのお得—被災者のみなさんへのメッセージ”を用いた,, 阪神・淡路大震災未成年時被災者を対象としたフィールド介入実験

第4章： フィリピン地滑り災害(2006年11月29日発生)被災者のPTSD, 睡眠習慣, 食習慣, 精神衛生についての疫学的研究

第1章-1では、朝型社会と呼ばれる中欧のチェコ共和国(0-8歳児627名)と日本(697名)の2国間で、子ども達の睡眠習慣や生活リズムの比較を目的とした質問紙調査を実施した。日本の子ども達はチェコの子ども達よりも、就床時刻が1.3時間遅く睡眠時間は1時間短かった。日本では保護者が“子どもの時間”と“大人の時間”を分けずに生活することで、その子ども達が保護者の影響を受けて夜型となっていた。一方、チェコでは保護者と子ども達の生活リズムは異なっており、チェコの保護者は大人の時間と子ども達の時間を明確に区別し、子ども達への睡眠指導が徹底されている実態が浮かび上がった。日本の子ども達の生活が夜型化し睡眠不足によって脳と体の成長が脅かされることを、“朝型国家”であるチェコとの比較によって浮き彫りにした本研究結果は睡眠科学における睡眠社会学の領域に新知見を与えるものである。

第1章-2では、仮説：「朝食でのトリプトファンを含むタンパク源やビタミンB6高含有食材の摂取とその後の太陽光曝露が高いセロトニンやメラトニンの合成分泌を促し、天然の同調因子(両物質)として朝型化をもたらす、抗うつ剤(セロトニン)や入眠剤(メラトニン)として子どもたちの精神衛生・睡眠健康の向上をもたらす。」のフィールド介入実験による検証が行われた。2008年11月に83名の運動部に所属する大学生を対象に行った実験では、G1: 睡眠日誌の記入のみ、G2: タンパク源を含む朝食摂取、G3: G2の内容+摂取後の太陽光曝露の3グループに被験者を分類し、1ヶ月間睡眠日誌の自記を依頼した。その結果、G3では最終週にかけて、就床時刻と起床時刻が位相前進する傾向が見られ、高取組実践者ほど1日の気分や寝起きの気分が改善される有意な効果やその傾向が見られた。2010年には94名の大学生アスリートを対象に、G1: 睡眠日誌のみ、G2: 睡眠日誌とタンパク源を含む朝食摂取とその後の太陽光曝露、G3: G2の内容+夜間非白色系白熱灯色蛍光灯曝露の3群を用いて、1ヶ月間の介入中に見られるその効果を検証した。介入前はグループ間に有意差の無かった唾液中メラトニン濃度が、介入を経てG1やG2に比べG3のみ有意に高くなっていた。G3において“高実施群”は“低実施群”に比べ、介入中点での唾液中メラトニン濃度が高い傾向が見られた。これら2つの介入フィールド実験によって、(1). 朝食でのトリプトファンとビタミンB6含有食材摂取、(2). 朝食後の太陽光曝露、(3). 夜間の非白色系白熱灯色光曝露の3つの介入が、松果体での夜間のメラトニン分泌を促進する強力な方法になりうる事が示された。第1章-2の成果は、トリプトファン-セロトニン-メラトニン代謝系がヒトの睡眠健康増進にとって重要であることを認識させたという点で、新知見を睡眠科学の研究分野にもたらした。

## 論文審査の結果の要旨

第2章では、阪神・淡路大震災後18年経過後の被災者特に未成年時に被災した研究協力者のPTSD (Post Traumatic Stress Disorder: 心的外傷後ストレス障害) と睡眠の質や朝型夜型度(クロノタイプ) の関係を質問紙調査により探ろうとした。IES-R得点(PTSD得点)が25点以上の高心的外傷群(HDG) は低心的外傷群(LDG) よりも有意に睡眠の質が悪かった。睡眠の質が悪い程 PTSD 症状が重くなる関係が見られたが、クロノタイプと IES-R 得点の間に有意な関係はなかった。朝型の研究協力者は睡眠の質が良かった。これらの知見は、朝型で規則的な生活が良質の睡眠の獲得を介し、間接的に PTSD 症状の軽減につながりうることを暗示している。災害者の心の傷を癒す手法として、朝型生活の推奨が有効であることを示しており、本研究成果は睡眠社会学、災害公衆衛生学など複数の分野に分野横断的新知見を提供している。

第3章では、96人の兵庫県内の専門学校生を研究協力者に、睡眠日誌と5つの取組の効果と方法を記したリーフレット「早ね、早起き、朝ごはん3つのお得! -被災者の皆さんへのメッセージ-」を用いたフィールド介入実験を行った(2012年11、12月)。被験者に5つの取組の実施を要請し、睡眠日誌や介入前と介入前後と一カ月後の総合質問紙調査によって、介入期間中の取組の効果を検証した。介入前に IES-R 得点25点以上を記録し PTSD 症状のある協力者1名について PTSD 症状は改善された。その他の被験者は介入後有意に朝型化し、入眠潜時が短くなった。1カ月間の取組によって、PTSD 症状が介入によって改善されることを支持する知見が得られ、一定の学術的意義を認めた。

第4章では、地滑り災害に遭った被災者を研究協力者に、被災後6年の時点での PTSD 症状と睡眠の質、精神衛生度、朝食の内容との関係をインタビューによる質問紙調査によって探った。研究協力者のうち90.9%(80名)で、IES-R得点が25点を超え PTSD 症状が見られた。高い IES-R 得点(重い PTSD 症状)との相関関係は、高い年齢、悪い睡眠の質、悪い精神衛生度との間にあったが、クロノタイプとの間には見られなかった。朝食内容と IES-R 得点との有意な関係は、共分散分析法(ANCOVA)によって、精神衛生を共分散因子に入れると消え、朝食でのタンパク質摂取がトリプトファンからセロトニンへの合成を経て精神衛生を改善し、PTSD 症状を改善させていることを暗示した。PTSD 症状の改善には朝食のタンパク質摂取が効果的であることを世界で初めて本研究は示しており、精神保健学の分野に新知見をもたらした。

本論文は、黒潮圏に生活するヒトにおいて、トリプトファン-セロトニン-メラトニン代謝系による精神健康増進効果という生理学的効果を、被災者の心的外傷度ストレス障害の改善につなげようとする分野横断的新発想によるものである。従って、生理学分野から災害公衆衛生学分野への架け橋となる研究論文と言え、「黒潮圏科学」の発展に寄与するものと考えられる。