

2020 年度博士学位論文

Doctor Theses in the 2020 Academic Year (April 2020 - March 2021)

博士（学術）学位論文 10 名

課程修了による博士学位

共生環境学専攻

氏名	宋 暁文
学位記番号	生博 甲第 326 号
学位記授与の日付	令和 2 年 9 月 16 日
学位論文題目	Development of biodegradable biomass board and its properties using soybean straw (大豆ガラを用いた生分解可能なバイオマスボードの開発研究)
論文審査委員	主査 教授・王 秀崙 教授・陳山 鵬 教授・村上 克介 教授・森尾 吉成

要 旨

The purpose of this research was to manufacture biodegradable biomass board (bio-board) by using soybean straw without any synthesis resin. The procedure of manufacturing bio-board included cutting, soaking, refining, and forming. The manufacturing parameters, including applied pressure (2-8 MPa), heating temperature (110-230 °C), forming time (0.5-2.5 h), was evaluated, respectively. Two pieces of bio-boards were produced at each experimental condition. After that, the physico-mechanical properties of bio-board were evaluated by standard methods based on JIS A5905.

Bio-boards were manufactured successfully at all experimental condition. These bio-boards were classified as hardboard according to JIS A5905 standard because the density exceeded 0.8 g/cm³. With the increase of applied pressure, the bending rupture stress ranged from 32.3 to 40.6 MPa, and the tensile rupture stress of the bio-boards was between

15.73 to 22.57 MPa. The water absorption of bio-boards ranged from 87.7% to 97.1%, and the thickness swell ranged from 45.8% to 62.0%. Generally, mechanical properties of bio-board were closely related to the density and moisture content affected by the applied pressure, whereas, bio-board had poor water-proof properties compared to commercialized fiberboard. The bending rupture stress of soybean straw bio-board slightly increased from 39.3 to 43.2 MPa when the forming time raised from 0.5 to 2.5 h. The tensile rupture stress of soybean straw bio-board varied from 17.6 to 24.7 MPa. The water absorption of soybean bio-boards ranged from 97.2% to 123.4%, and the thickness swell ranged from 66.2% to 97.8%. Except for the bio-board made at 0.5 h that had relatively low strength and water-proof performance, the performance at other forming time condition did not have significant difference. With the increase in temperature, there was a decrease in moisture content, the softening of lignin, and the

pyrolysis of hemicellulose, which was beneficial to the improvement of mechanical properties of the bio-board. However, excessive heating temperature, especially at 230 °C, did not significantly promote improvement to most mechanical properties. On the other hand, the dimensional stability of the bio-board was greatly improved from 140 to 230 °C.

Furthermore, to evaluate the influence of fiber length on properties of bio-board, soybean straw fiber was prepared with three categories of fiber lengths: long fiber (length > 2 mm), short fiber (length < 1 mm), and mixed fiber. Then, three different kinds of bio-boards were made by using these three fibers. The bending properties, screw holding force, dimensional stability and water soaking properties of these bio-boards were further investigated. The

mixed fiber bio-boards had shown conceivably better mechanical properties and dimensional properties than long and short fiber length bio-boards, due to its dense structure in which short fibers were stuffed among the interweaving of long fibers. Finally, two methods were tried to improve the water-proof of the bio-board in this research.

Bio-board which was made in this study performed well in mechanical properties. In the making process, none of chemical adhesive and chemical compound was used. The research of bio-board was not only beneficial for solving the problem that traditional fiberboard released toxic gases, but also had a good advantage of the utilization of agricultural wastes. It was also conducive to the protection of forest resources.

共生環境学専攻

氏名	安藤 雄太
学位記番号	生博 甲第 327 号
学位記授与の日付	令和 2 年 9 月 16 日
学位論文題目	Influence of land-sea thermal contrast in midlatitude upon the seasonal evolution of stratospheric circulation and the modulation of temperature in Japan (中緯度の海陸コントラストが成層圏循環の季節進行と冬期の日本の気温の変調に及ぼす影響)
論文審査委員	主査 教授・立花 義裕 教授・葛葉 泰久 教授・坂本 竜彦 准教授・飯島 慈裕 准教授・西井 和晃 准教授・万田 敦昌 東京大学先端科学技術研究センター 教授・中村 尚 北海道大学大学院理学研究院 教授・見延庄士郎

要 旨

日本の気温はエルニーニョ、北極振動などの大規模な大気循環によって決められるという先行研究が多数存在する。しかし、その大気循環がどのような季節進行をするのかは詳細にはほとんど知られていない。また、日本は周囲を海に囲まれて

いるため海水温の影響も大きいと考えられる。本研究では日本の気温変動に関して 2 つの視点で研究を行った。

1) 中緯度の海陸コントラストが成層圏循環の季節進行に及ぼす影響

日本の気温に影響する大規模な大気循環の季節

進行を1年を通して調べたところ、徐々に変化することが多い中、11月下旬に大きく変化していた。この時期は、成層圏の極夜ジェットの季節進行に伴う強化が停滞する時期と一致した。成層圏の極夜ジェットは北極振動と強く関連する。この停滞は半月程度と短いため、先行研究では指摘されていない。この停滞は対流圏から成層圏への大気の波動（プラネタリー波）の上方伝播が急増したことによる影響と考えられる。この波動伝播はシベリア上空での低気圧の強化と関連する。低気圧の強化はユーラシア大陸と大西洋が作り出す海陸の熱的コントラストが、この時期に最大になることが要因であることが示唆される結果となった。この停滞が顕著な年とそうでない年が同数程度存在し、顕著な年は気候値の季節進行の停滞をより強化する結果となった。また、停滞は近年の方が顕著であり、地球温暖化に伴う北極海の海水減少と

も関連することが示唆される。

2) 中緯度の海陸コントラストが日本の気温に及ぼす影響

日本の気温は周囲を海に囲まれているため、海水温の影響も大きいと考えられる。2012年初冬は、北極振動と西太平洋パターンという2つの大規模な大気循環による強い寒波が東アジアを覆っていた。しかし、異常高温だった日本海からの熱輸送によってその寒気が弱められ、日本は予測より寒くなかったことが示唆された。さらに事例解析だけでなく、統計的に日本周辺の海水温が日本の気温に及ぼす影響を調べた。大規模な大気循環が日本周辺の海水温と日本の気温の両者に影響するため、その影響を除去する新手法を用いた。その結果、初冬は日本の気温が高いと日本海からの熱輸送量が統計的に多いことが明らかになった。

生物圏生命科学専攻

氏名	Albert Valdish Manuel
学位記番号	生博 甲第 328 号
学位記授与の日付	令和 2 年 9 月 16 日
学位論文題目	The effect of simultaneous salinity and temperature drop with different exposure times on the early developmental stages of coastal marine species (初期発育段階の沿岸性海洋動物に与える塩分と水温の同時変化の影響)
論文審査委員	主査 教授・吉松 隆夫 教授・一色 正 教授・松田 浩一 准教授・筒井 直昭

要 旨

Torrential rainfall is one of the main external factors affecting coastal marine species during spawning seasons. Heavy rain over a certain period may influence embryonic development of coastal marine organisms. The earliest life stages of coastal marine species are the most sensitive to changes in their environment but as they develop, their tolerance rate increases. Therefore, the objective of this research was to determine the combined effects of simultaneous salinity and temperature drop with different exposure times on the egg stages of coastal

marine species (disk abalone *Haliotis discus discus*, giant abalone *Haliotis gigantea*, bamboo sole *Heteromycteris japonicus* and japanese flounder *Paralichthys olivaceus*) with regard to onset hatching time, hatching success rate, percentage of abnormality, larval measurements and survival rate.

Experiment 1, the embryonic developmental response of two abalone species (disk abalone and giant abalone) to a drop in salinity with different exposure times was investigated to gain a better understanding of the reasons for the decrease in natural stock populations. Two experimental

designs, first, combinations of two salinities (34 and 17 psu) and four exposure times (0, 1, 2 and 4 h), and second, combinations of three salinities (34, 24 and 14 psu) and four exposure times (0, 1, 3 and 6 h) were tested on disk and giant abalone eggs to determine the effects on hatching onset time, hatching success, percentage of abnormality and survival rate. Hatching onset time increased significantly for both species as salinity dropped and exposure time increased. Both species followed a decreasing trend in terms of hatching success as exposure time increased at low salinity levels. As for abnormality, both species showed a significant negative effect of low salinity and long exposure times. Giant abalone showed better adaptability to long exposure time at low salinity levels, and hence a higher survival rate, than disk abalone.

Experiment 2, the response of early development of bamboo sole to gradual salinity drop (34, 24, 14 psu) with different exposure times (1, 3, 6 h) to mimic natural conditions during spawning season were investigated in a series of small-scale laboratory experiments. An experimental set-up containing six replicates per treatment using plastic microplates were each stocked with 78 gastrula stage eggs and exposed to gradual salinity drop conditions following recovery after certain periods of exposure time. Onset hatching time was significantly prolonged by 6 h exposure, irrespective of salinity level. Hatching success rate, percentage of morphological

abnormality and survival rate at 4 days post-hatch (dph) showed no individual main effects and interaction between salinity and exposure time. Although the total length of newly hatched larvae (NHL) and yolk sac volume showed significant interaction, NHL pre-anal length and final total length at 4 dph showed no interaction but individual main effects of salinity and exposure time.

Experiment 3, The early stage development response of Japanese flounder to gradual drop in salinity (34, 24, 14 psu) with different exposure times (1, 3, 6 h) were investigated to gain better understanding of the decrease in natural stock and its relationship to global weather pattern changes. A series of small-scale laboratory set-up containing six replicates per treatment using plastic microplates were each stocked with 78 fertilized Japanese flounder eggs of gastrula stage and exposed to salinity drop following recovery to ambient conditions after certain periods of exposure. Two-way ANOVA analysis data showed that salinity (S) and exposure time (E) individually or as a combination (S x E) had no effects on hatching success rate, percentage of abnormality and survival rate at 4 days post-hatch. Onset hatching time, NHL total length and yolk sac volume showed individual effects but recorded no interaction effects between S and E. Pre-anal length and final total length at 4 days post-hatch showed no individual or combination effects between S and E.

生物圏生命科学専攻

氏名	Phan Thi Cam Tu
学位記番号	生博 甲第 329 号
学位記授与の日付	令和 2 年 9 月 16 日
学位論文題目	Impacts of short-term salinity and turbidity stress on the early life stages of aquatic plant and animals (初期発育段階の海洋性動植物に与える塩分と濁度の短時間暴露の影響)
論文審査委員	主査 教授・吉松 隆夫 教授・一色 正 教授・松田 浩一 准教授・筒井 直昭

要 旨

Two series of experiments were conducted in the laboratory to estimate the stress tolerance of a brown alga *Sargassum fusiforme* germlings when exposed to low salinity or high turbidity. Results showed that the growth of germlings was significantly affected ($P < 0.05$) by daily salinity change according to duration of stress exposure. The lowest specific growth rate (%/day) of germlings was 1.1% at 17 psu for 6 h exposure. Survival of germlings was more tolerant compared to the influence on that for growth. From the results of turbidity tolerance test, the growth and survival of germlings reduced by increasing turbidity levels. In comparison with conditions of turbidity from 0 and 100 NTU, high mortality was recorded when germlings were exposed to high turbidity stress of 700 NTU. The only treatment of 100 NTU combined with 2 h exposure had a specific growth rate of over 2%, whereas others were below 1%. Germlings had the lowest growth of about 0.2% when exposed daily at 700 NTU for 6 h.

Study conducted to assess the effects of short-term low salinity and turbidity stress on the embryonic and early larval stages of Japanese flounder, *Paralichthys olivaceus*. In the first experiment, the embryos were exposed to different combinations of salinity (34, 30, 26, 22, 18, and 14 psu) and turbidity (0, 100, 300, 500, and 700 NTU) for a short period of 3 h. Experiment 2 evaluated low salinity tolerance at

different developmental stages under the turbidity level of 700 NTU. The results showed that turbidity significantly influenced hatching rate, abnormality rate, total length, yolk sac volume, and survival rate, whereas low salinity only affected the percentage of abnormality. There was no interaction between salinity and turbidity on these parameters.

The effects of low salinity and turbidity on the embryonic stage of red sea bream *Pagrus major* were examined under controlled laboratory conditions. In the first experiment, eggs of the red sea bream were exposed to different salinity stresses [34 (control), 30, 26, 22, 18, and 14 psu] for 3 h. In the second experiment, eggs were exposed to higher turbidity levels of 100, 300, 500, and 700 NTU obtained by dissolving kaolin clay with fresh seawater (0 NTU: control) in the same duration as in the first experiment. The results showed that the embryos of red sea bream were tolerant to short-term exposure to low salinity stress. There were no significant differences in the hatching rate, yolk sac consumption of newly hatched larvae, or survival of larvae at 6 days post-hatching. However, the short exposure to turbidity stress reduced the hatching rate, total length and yolk sac volume of newly hatched larvae, and viability of larvae of red sea bream. Turbidity had a significant impact on the abnormality rate at hatching, with higher values observed for elevated turbidity.

The embryos of disk abalone *Haliotis discus discus*

and giant abalone *Haliotis gigantea* were exposed to salinity or turbidity changes to determine the effects on subsequent hatching and larval development. The short-term low salinity stress decreased the hatching and survival rates, and increased the abnormality rate for both species. As for turbidity

stress, negative effects on hatching and survival rates were observed in both species when their embryos were exposed to increased turbidity. The abnormality rates of both species at turbidities of 500 and 700 NTU were significantly higher than those at turbidities of 0 and 100 NTU.

資源循環学専攻

氏名	中田 知沙
学位記番号	生博 甲第 330 号
学位記授与の日付	令和 3 年 3 月 25 日
学位論文題目	木材輸送におけるドライバーの労働環境に関する研究 (Research on the working environment of drivers in timber transportation)
論文審査委員	主査 教授・石川 知明 教授・松村 直人 教授・木佐貫博光 准教授・板谷 明美

要 旨

林業における輸送は、重量や体積の大きい原木や木材を扱うことから危険であり、労働負担も大きいことが予想される。そのため、他の輸送に比べ特異な労働負担の課題が生じている可能性があるが、ほとんど現状が明らかにされていない。本研究では、木材輸送の中でも重量や体積の大きい原木を扱い、整備されていない林道を輸送することが多く、特に危険や負担があると考えられる原木輸送について、Web マップサービスを用いて労働負担の視点を加えた過剰伐採が懸念される人工林を推定し (1, 2)、さらにアンケートおよびインタビュー調査により原木輸送におけるドライバーの労働負担とヒヤリハット経験について明らかにした (3, 4)。

(1) Web マップサービスを活用した人工林と木質バイオマス発電所間の輸送距離と時間の推定

本研究の目的は、人工林と木質バイオマス発電所を例に、Google Maps の経路検索機能を用い、森林内を含めた輸送距離と時間の推定システムを構築することであった。三重県を対象に解析を行った結果、林道の迂回係数を用いて森林内を含む輸送距離と時間の推定を行うシステムを構築することができた。三重県内の人工林から津市の木

質バイオマス発電所までの輸送距離は 15.54～173.30km で、輸送時間は 0.54～5.86 時間であった。本システムで計算された距離と時間をもとに、しきい値 (コストを考慮した 50km 以内、ドライバーの労働時間を考慮した往復 5 時間以内) を設定して推定した収穫可能面積は、以前の研究で使用された木質バイオマス発電所から 50km 半径内および輸送距離 8 時間以内で計算された結果よりも小さかった。本システムは、Google Maps の経路検索機能を用いて実際に近い状況の輸送距離と時間を推定でき、効率的な木材輸送とドライバーの労働管理に貢献すると考えられた。

(2) 木質バイオマス発電所の資源供給のために過剰伐採されやすい人工林の探索

本研究の目的は、Google Maps を活用して得た輸送距離と時間にもとづき、木質バイオマス発電所に資源を供給する際に過剰伐採の影響を受けやすい人工林を探索し、それらを可視化することであった。Google Maps の経路検索の目的地は三重県の 3 つのバイオマス発電所であり、出発地は 484 流域に分割された三重県内の人工林の重心とした。過剰伐採されやすい人工林は、コストを考慮した片道 50km 以内、ドライバーの労働時間を考慮した片道 2.5 時間以内の 2 つのしきい値にも

とづいて探索した。その結果、人工林の多くが激しい収穫競争の対象となる可能性があることが示唆された。人工林の55.07%は、2または3つのバイオマス発電所から50km以内にあり、87.11%はそれらから片道2.5時間以内であった。木質バイオマス発電所から遠い南部から資源を調達することを検討する必要があると考えられた。その際に、関係者は伐採計画を共有し、過剰伐採を監視することも必要である。

(3) 原木輸送ドライバーの労働環境と労働負担の現状

本研究の目的は、労働環境が大きく異なると考えられる専門ドライバーと非専門のドライバーの比較を通し、原木輸送を担うドライバーの労働環境と労働負担について明らかにすることであった。アンケートおよびインタビュー調査の回答者は、運送会社所属の専門ドライバーが24名、森林組合や林業会社所属のドライバーが21名であった。専門ドライバーの方が少し年齢は高く、原木輸送の経験が長かった。休憩日や時間に有意差は無かったが、専門ドライバーは、長距離（最大700km/日）・長時間運転（18時間/日）するドライバーがいた。専門ドライバーの方が大型のトラックを運転し、往復共に荷物の積載があり、積み降ろしともに行っていたドライバーが多かった。非専門のドライバーの方が大型車両の運転に対する疲れを感じている人が多かった。運転以外の仕

事が主な仕事で、原木の輸送を難しいと感じていることが影響していると考えられた。両ドライバーともに休憩は十分と思っているが、車を止めて休憩する場所を探すのに苦労していることが明らかとなった。

(4) 原木輸送におけるドライバーのヒヤリハット経験の発生要因

研究の目的は、原木輸送を行っているドライバーのヒヤリハット経験について、アンケートおよびインタビュー調査を行い、その特徴とヒヤリハット経験の回数に影響を与える要因を明らかにすることであった。45名から回答を得られ、原木輸送のドライバーの多くはヒヤリハット経験があり、ヒヤリハットの経験をしたことのあるドライバーの約7割は3年の間に3回以上のヒヤリハット経験があった。林道、直進中、カーブ、飛び出し、原木を運んでいるときにヒヤリハット経験をするドライバーが特に多かった。また、ヒヤリハット経験が増加する要因として、合流・分岐点、スピード超過、一般道（市街地）、原木を運んでいるときが選択された。林道だけでなく、一般道においてもヒヤリハット経験をしたり、回数が増加する要因となっていたりすることから、原木輸送では林道と一般道を行き来することを考慮した注意喚起の看板の設置やドライバーの休憩場所を確保するなどの安全対策が必要と考えられた。

資源循環学専攻

氏名	服部友香子
学位記番号	生博 甲第 331 号
学位記授与の日付	令和 3 年 3 月 25 日
学位論文題目	Taxonomical studies on Botryosphaerales in Japan (日本産ボトリオスフェリア目菌類の分類学的研究)
論文審査委員	主査 教授・中島 千晴 教授・松田 陽介 教授・掛田 克行

要 旨

ボトリオスフェリア目菌類は、子のう菌門クロイボタケ綱に属し、樹木の葉・果実・枝に寄生し病害を引き起こす樹木病原菌を含む分類群として知られる。これまで我が国では、本目菌類が関連する樹木病害として、スギやヒノキの暗色枝枯病、カラマツ先枯病、アスナロの葉枯病、スギこぶ病、カエデ属樹木の褐色円葉斑病およびマンゴーの軸腐病などの多様な病害が報告されている。本目菌群は世界的に DNA 塩基配列を用いた分子系統関係と形態的特徴とを統合した新基準による分類の再検討が進められているが、日本産種の多くは形態的特徴のみで同定される旧分類基準に基づき記載されており、現在までその分子系統学的位置は不明である。本研究では、日本産ボトリオスフェリア目菌の中でも特にボトリオスフェリア科およびフィロステクタクタ科に着目して、日本産ボトリオスフェリア目菌の菌類相の把握を目的に、これ

までに我が国で収集、保管されてきた保存菌株に対して複数遺伝子座を用いた分子系統解析と形態観察を行い、その分類学的位置づけの再検討を行った。その結果、本研究において、日本産ボトリオスフェリア目菌類は、*Phyllosticta* 属菌 5 種、*Botryosphaeria* 属菌 5 種、*Lasiodiplodia* 属菌 8 種および *Neofusicoccum* 属菌 8 種を含む計 26 種が確認された。26 種の内、新種が 8 種、新組み合わせが 2 種、日本新産種は 5 種であり、日本産樹木寄生性ボトリオスフェリア目菌類の高い多様性が確認された。また、特に琉球列島や小笠原諸島では、複数の属で新種と考えられる種が見出されたことから、これらの地域では、地理的要因による特徴的な種分化が起こっている可能性が考えられた。さらに、ボトリオスフェリア目菌類において、形態的特徴、生育適温および病原性は、分子系統と関係しており、今後も分類学上有用な識別子になることが示唆された。

共生環境学専攻

氏名	山崎 充
学位記番号	生博 甲第 332 号
学位記授与の日付	令和 3 年 3 月 25 日
学位論文題目	グラウンドアンカー維持管理におけるアンカー緊張力の利用に関する研究 (Studies on the Use of Anchor Tensile Load in Ground Anchor Maintenance)
論文審査委員	主査 教授・酒井 俊典 教授・保世院座狩屋 教授・岡島 賢治 教授・大野 研

要 旨

グラウンドアンカー（以下、アンカーという）は、引張り材に緊張力を加えて、その両端を地盤内と地表面で固定し、法面の安定化を図る構造物であるため、アンカーの維持管理においては、荷重計やリフトオフ試験によって計測される残存緊張力を指標にした健全度の評価が行われている。従来、アンカーの緊張力は、施工後初期に地盤のクリープや引張り材のリラクゼーションによって徐々に低下した後一定の値に収束するとされている。しかしながら、アンカーの緊張力は、これ以外にもアンカーが施工された背面地盤の地質や地山条件の影響を受け変化することが想定されるものの、地質条件と緊張力低下の関係、あるいは背面の地山変動に伴う緊張力変化について、現在まで適切な評価が行われてきていない。本研究では、背面地盤の地質や風化程度などの地質条件と緊張力低下との関係について検討するとともに、アンカーの背面地盤の地山変位がアンカー緊張力に直接反映されることから、アンカーが法面の変動を捉えるセンサーとして利用できることについて検討を行った。

研究では、まずアンカーの緊張力低下と地質や風化程度との関係について検討を行った。検討にあたって、荷重計およびリフトオフ試験によって得られた残存緊張力とアンカー自由長部に分布する地盤の岩種および岩級区分の関係について評価を行い、以下の事項を明らかにした。

(1) アンカーの緊張力低下は、初期的にも長期的にも、アンカーが施工された背面の岩級区分に関係し、 C_H , $C_H \sim C_M$, C_M , $C_M \sim C_L$,

C_L , $C_L \sim D$, D 級、土砂へと地質条件が悪くなるにしたがって大きくなり、施工から 30 日程度以内の初期的な期間よりも、それ以降の長期的な期間において大きい。

- (2) 施工から 30 日後の初期的な期間の緊張力低下は、火成岩の D 級、堆積岩の D 級および土砂、変成岩の $CL \sim D$ 級および土砂で大きく、 R_{pt} が 90% を下回るアンカーが出現するとともにばらつきが大きくなる。このような傾向は、変成岩で顕著である。
- (3) 長期的な緊張力低下については、施工から 20 年後においても、火成岩、堆積岩、変成岩ともに、 C_H , $C_H \sim C_M$, C_M 級では、平均 R_{pt} でおおむね 90% 以上の健全な状態が保持される。
- (4) 火成岩の D 級および土砂、堆積岩および $C_L \sim D$, D 級および土砂は、施工から 10 年～20 年後には R_{pt} が 50% を下回り、残存緊張力とアンカー健全度の目安において「対策を実施」と評価されるアンカーが出現する。このような傾向は、火成岩に比べて堆積岩、変成岩で顕著である。
- (5) 地質条件が $C_L \sim D$, D 級および土砂のような風化が進んだ法面では、緊張力低下は施工から 5 年後以降の 10 年、20 年後も継続し、 R_{pt} のばらつきは大きくなっていく傾向が見られる。
- (6) 地下水の有無と緊張力低下の関係について検討した結果、地質条件が $C_M \sim C_L$, C_L , $C_L \sim D$, D 級および土砂の法面において地下水が存在する場合には、地下水が存在しない場

合に比べて、 R_{pt} のばらつきが大きくなる傾向が見られる。

次に、アンカーの緊張力が背面地盤の変位を捉えるセンサーとして機能することに関する検討を行った。検討にあたって、アンカーに設置した荷重計による緊張力の変化と従来から用いられる各種変位観測機器との関係について評価し、以下の事項を明らかにした。

- (1) 各種変位観測機器の変化とアンカーに設置した荷重計の変化には、高い相関が認められ、両者は一次回帰式で近似できる。また、変位観測機器の変化量が小さい場合でも高い相関が見られ、アンカーは変位観測機器と同等に地盤変動を捉えるセンサーとしての機能を有する。
- (2) 各種変位観測機器とアンカーに設置した荷重計の変化は、変位方向とアンカー打設方向のなす角が40度程度まで斜交しても高い相関を示す。

最後に、維持管理におけるアンカー緊張力の利用について、緊張力低下と地質条件の関係、およびアンカー緊張力がセンサーとして有効利用できる結果を基に、緊張力が低下しやすい地質条件におけるアンカーの建設段階における上げ越し量、および供用段階における再緊張の有効性の提案を実際の法面を対象に行うとともに、効率的な緊張力計測配置や追加調査の方法を考慮した維持管理の流れについて検討を行い、以下の提案を行った。

- (1) 緊張力低下が大きい地質条件のアンカーへの対応として、上げ越しによる方法を検討した結果、建設段階において定着時緊張力の10%の上げ越しを行うことにより、10年～15年後に出現する R_{pt} が50%を下回るアンカー数が減少することが想定された。しかしながら、上げ越しのみでは十分かつ効果的な対応を行うことができない可能性があるため、建設段階においては、再緊張を行いやすい構

造のアンカーを採用しておく必要があると考えられる。

- (2) 緊張力低下が大きいアンカーへの供用段階の対応方法としては、 R_{pt} が50%を下回っても直ちに「対策を実施」と評価せず、アンカー機能の健全性調査を行ったうえで、再緊張の実施を検討することが妥当であると考えられる。また、再緊張は緊張力低下および R_{pt} のばらつきの解消に効果がある。
- (3) 緊張力を計測する際の配置と追加調査について、施工全数に対して5～10%のアンカーを対象に荷重計やリフトオフ試験による計測を行い、その後の追加調査は緊張力の状況を考慮した上で、上下左右もしくは左右のアンカーを対象に追加調査を行うことで、全数調査をせずとも効率的に緊張力の増減範囲を特定できる。

これら一連の研究では、高速道路法面だけでも120,000本ある国内に膨大な量が施工されているアンカーの維持管理において、これまでアンカー緊張力変化の原因が不明確なため、経験に基づく定性的な評価のみで、緊張力が変化している場合一律に法面に問題があると判定されていたことに対し、法面が健全な場合であっても、アンカーの緊張力は、背面地山の地質や風化程度の影響を受けて大きく低下することを明らかにするとともに、緊張力が低下しやすい地質条件における建設段階の適切な上げ越し量や、維持管理段階の緊張力低下アンカーに対する適切な再緊張の時期に関する提案を新たに行ったものである。また、地山変状が見られる法面に施工されたアンカーの緊張力は、従来から使用されてきた各種計測機器と同様に、のり面の変位を捉えるセンサーとして機能を有することを明確にし、これらの成果を基に国土強靱化に資するアンカーの緊張力変化を基にした新たな法面の維持管理手法についての提案を行ったものである。

生物圏生命科学専攻

氏名	古山 歩
学位記番号	生博 甲第 333 号
学位記授与の日付	令和 3 年 3 月 25 日
学位論文題目	胃内容物分析および炭素・窒素安定同位体比分析からみた伊勢・三河湾系スナメリの食性 (Food habits of narrow-ridged finless porpoises in Ise and Mikawa Bay, central Japan: A combined stomach content and stable isotope approach)
論文審査委員	主査 教授・吉岡 基 教授・河村 功一 教授・松田 浩一 准教授・淀 太我 准教授・森阪 匡通 長崎大学大学院水産・環境科学総合研究科 教授・天野 雅男

要 旨

スナメリ *Neophocaena asiaorientalis* は、東アジア沿岸域に生息する鯨類である。日本では、遺伝的に独立した個体群として 5 海域に分布している本種は、水産資源保護法対象種として保護されてきたが、保護のために重要な生態情報は不足しており、本種の食性は 2 系群でしか報告がない。そこで本研究では、その食性情報の蓄積と摂餌生態のさらなる解明を目的として、伊勢・三河湾系群を対象に 1992~2020 年の約 30 年間に収集されたストランディングや混獲個体の標本を用いて、胃内容物分析と安定同位体比分析からその食性を明らかにした。

1. 胃内容物分析による食性解析

80 個体の胃内容物を分析した結果、魚類 8 目 24 科 30 種、頭足類 3 目 4 科 6 種、甲殻類 2 目 3 科 7 種が同定された。これら餌生物について、生活型ごとに個体数割合 (%N) と出現頻度 (%FO) を算出して季節的な傾向をみたところ、春夏では頭足類の %N, %FO が著しく高かったが、秋冬では春夏と比べて頭足類の %N が低下し、表層群泳魚や底生魚などの %N, %FO が上昇した。分類群ごとの重要度の順位比較では、ツツイカ目、ニシン目、キス科、ハゼ科、タコ目が上位であった。出現分類群数は、性成熟個体の方が未成熟個体よりも 10 分類群ほど多く、そのうち 8

分類群は表中層魚であった。さらに、胃内容物を基に混合分布クラスタリングを行ったところ、供試個体は 6 つのクラスターに分かれ、それぞれの胃内容物は、主に底生魚、頭足類、大量の底生魚、表層群泳魚と底生魚、表中層魚、表層群泳魚と頭足類で構成された。これらのうち、胃内容物が表層群泳魚と頭足類で主に構成されるクラスターに 40 個体 (56%) が分類された。以上のことから、本系群のスナメリは、ツツイカ目やタコ目の頭足類とニシン目の表層群泳魚を高頻度で摂餌し、季節や成長段階によって、その食性が変化することが示唆された。

2. 漂着個体における腐敗標本の安定同位体比解析法の確立

安定同位体比分析に供する標本には腐敗が進んだものも含まれるため、屋内実験により、2 個体の新鮮な筋肉を腐敗させ、炭素・窒素安定同位体比 ($\delta^{13}\text{C}$, $\delta^{15}\text{N}$) と含有率の変化を観察し、腐敗が解析に与える影響を調べた。筋肉を 20°C で 30 日間放置した結果、 $\delta^{13}\text{C}$ に大きな変化はなかったが、 $\delta^{15}\text{N}$ は最大 1.86‰ 上昇した。 $\delta^{15}\text{N}$ が大きく変化した標本は窒素含有率の低下も激しく、元素含有率の低下に伴い、安定同位体比が変化することが示唆された。この結果を踏まえ、混獲や座礁、迷入した新鮮な 53 個体と腐敗度合いが様々な死亡漂着した 213 個体 (漂着標本) との間で筋肉中

の炭素・窒素含有率を比較したところ、漂着標本は低い炭素・窒素含有率を示した。次いで、漂着標本の $\delta^{13}\text{C}$ 、 $\delta^{15}\text{N}$ について、炭素・窒素含有率や CN 比（炭素／窒素）の変化が与える影響を一般化加法モデル（GAM）によって解析したところ、モデル選択において、元素含有率や CN 比が説明変数として採択され、それらの変化に伴う安定同位体比の大きな変化が予測された。以上の結果から、安定同位体比の解析には、炭素・窒素含有率や CN 比を指標として標本を抽出したり、GAM 解析を適用することで、標本の腐敗度合いを考慮した解析ができることが明らかになった。

3. 安定同位体比分析による食性解析

前述の解析手法の検討結果を踏まえ、298 個体の筋肉の $\delta^{13}\text{C}$ 、 $\delta^{15}\text{N}$ について、体長や性別、採取年、採取月、採取海域を説明変数として GAM 解析を行った。このうち体長と採取年のみが明確な変化を示した。体長による予測では、 $\delta^{13}\text{C}$ 、 $\delta^{15}\text{N}$ とも、性成熟体長と考えられる 1.4m 付近で変化がみられた。採取年による予測では、いずれも長期にわたる経年低下がみられ、その原因は環境や一次生産者の変化である可能性が示唆された。安

定同位体比を用いた寄与率推定において、比較に用いる餌生物は 2016～2020 年に収集したものであるため、この経年低下を補正する必要が生じた。そこで、新生仔 104 個体を用いて採取年と安定同位体比について直線的な回帰を行い、補正式を作成した。元素含有率を基に抽出した 68 個体について、経年変化を補正したうえで、胃内容物を基に分けられた 6 クラスターをそれぞれ 1 つの餌資源として寄与率を推定した結果、表層群泳魚と底生魚、表層群泳魚と頭足類を主とするクラスターで寄与率の 8 割が占められ、これらが本系群の重要な餌資源であることが示された。

以上の 2 つの手法を用いた解析結果から、伊勢・三河湾系スナメリは、ニシン目の表層群泳魚、キス科やハゼ科の底生魚、ツツイカ目やタコ目の頭足類を主に摂餌し、春夏には頭足類の摂餌が多くなることや成長に伴い多様な表中層魚を摂餌するようになることが明らかになった。本種の食性は遊泳能力の向上や季節的な生物の密度変化によって変化していると考えられ、基本的には機会的な摂餌を行うことが示唆された。

生物圏生命科学専攻

氏名	生野 彰宏
学位記番号	生博 甲第 334 号
学位記授与の日付	令和 3 年 3 月 25 日
学位論文題目	葉酸欠乏による DNA 損傷ならびに椎間板変性症における DNA メチル化に関する研究 (Studies on DNA methylation in DNA damage induced by folate deficiency and in intervertebral disc degeneration)
論文審査委員	主査 教授・奥村 克純 教授・梅川 逸人 教授・田丸 浩

要 旨

真核細胞のゲノム上に見られる DNA のメチル化は CpG 配列のシトシンが二本鎖共に受ける化学修飾で、哺乳動物において個体発生や細胞分化、遺伝子発現の制御などに関わる重要なエピジェネティック修飾である。高頻度に DNA メチル化を受けた遺伝子のプロモーター領域は凝縮したヘテロクロマチン構造となり、転写が抑制状態にある。DNA のメチル化異常は、遺伝子発現の ON/OFF と直結することから、がんなどの生活習慣病や様々な疾患に関連することが示されている。本研究では、ゲノム DNA のメチル化について、メチル基の供給不足によって生じる DNA の低メチル化と DNA 損傷に関する細胞レベルでの研究、およびヒトの疾患の進行とゲノム DNA のメチル化状態に関する個体レベルでの研究を行い、生命現象における DNA のメチル化の役割の一端を明らかにすることを試みた。

まず、細胞レベルの研究として、栄養素葉酸の欠乏に伴って誘導されるゲノム DNA の低メチル化と DNA 損傷について検討した。細胞分裂において、個々の細胞の遺伝子発現の ON/OFF 状態を維持するために、DNA 複製時に親鎖の CpG 配列のメチル化状態に基づいて、新しく合成された娘鎖 DNA の CpG 配列に、維持メチル化酵素によってメチル基が付加される。このメチル基の供給源は S-アデノシルメチオニン (SAM) であり、さらにその供給源として葉酸が重要な役割を果たす。したがって、葉酸が欠乏すると、SAM の供給不足となり、DNA 複製依存的にゲノム DNA

の低メチル化や DNA 損傷が起こる。本研究では、DNA のメチル化がヘテロクロマチン領域で高度に見られることに着目し、ヘテロクロマチン領域で顕著な影響を受けると考えた。ヘテロクロマチン領域が S 期後期に複製されることに注目し、S 期の進行に伴う、免疫蛍光染色法を用いた DNA 損傷の解析、分子コーミング法による複製フォーク進行速度の解析、Bisulfite sequencing 法による DNA メチル化状態の解析を行った。その結果、葉酸欠乏処理により S 期依存的な DNA 損傷マーカー γ -H2A.X の核内蛍光強度の増加、および複製フォーク進行速度の低下が確認された。また S 期を前期・中期・後期に分類した細胞数の割合は、前期が減少し、中 - 後期が増加する傾向がみられた。これらの結果は、S 期中 - 後期にかけて複製依存的 DNA 損傷を生じることを示唆している。続いて、S 期各段階での DNA 損傷を解析したところ、葉酸欠乏処理では S 期全段階で損傷の増加が確認されたが、中 - 後期の細胞においてより強い増加傾向がみられた。また同条件で *Human LINE1* プロモーター配列において約 10% のメチル化の減少がみられた。以上の結果から葉酸欠乏処理によって、複製依存的な DNA の低メチル化に伴い DNA 損傷が生じる新たな可能性を示すことができた。

さらに、その DNA 損傷メカニズムについても研究を進めた。DNA の維持メチル化では、DNA 複製直後に二本鎖のうちの片鎖のみがメチル化状態にあるヘミメチル化 DNA が一時的に生じ、これに直ちにメチル基が転移されるが、葉酸欠乏時

にはヘミメチル化状態が長時間残り、これが DNA 損傷の原因となると考えられる。本研究では維持メチル化酵素遺伝子の発現をノックダウンすることにより、DNA の低メチル化を誘導し、その際にヘミメチル化状態の DNA が存在することを Hairpin-bisulfite sequencing 法により明らかにした。これにより、DNA の低メチル化によって誘導される DNA 損傷メカニズムの解明に貢献した。

次に、DNA のメチル化に関する個体レベルでの研究として、疾患に関連する DNA メチル化部位 (DML) を新たに同定することを試みた。椎間板変性は椎間板ヘルニアなどの他の脊椎疾患の原因となるため、腰痛との高い関連性が知られ、そのメカニズムの解明による治療や対策が強く望まれている。椎間板変性では遺伝子発現レベルの多数の報告があるが、発症の原因については不明な点が多い。そこで本研究では椎間板変性およびその進行に関連する DML を同定することを目的とし、Infinium Human Methylation EPIC を用いた

ゲノムワイドな DNA メチル化解析によって、椎間板変性初期群と変性群を比較解析した。得られたメチル化情報を元にクラスタリング解析を行ったところ、初期群のメチル化には強い相同性が確認され、変性によりメチル化に変化を生じることが示された。また DML 解析により 220 の DML を同定し、187 の遺伝子でメチル化の変化が確認された。さらに年齢や性別に注目して有意差を指標に数種の DML を解析したところ、同一群内での相関はほぼ確認されず、本研究によって椎間板変性特異的なメチル化変化を捉えたといえる。同定された 187 遺伝子には、椎間板変性関連遺伝子として報告のあるものは少ないが、関連するシグナル伝達経路に属するものが含まれていた。さらに、GO 解析によって複数の細胞接着関連グループと関係することが確認された。これらの結果は、細胞間接着や細胞外マトリクスを介した全体的なシグナル伝達の異常が椎間板変性に関連する可能性を示唆している。

論文提出による博士学位

氏名	川原田直也
学位記番号	生博 乙第 97 号
学位記授与の日付	令和 2 年 12 月 16 日
学位論文題目	飼料用米の乾燥調製および保管体系の合理化に関する研究 (Study on improvement of drying and storage of feed rice)
論文審査委員	主査 教授・橋本 篤 教授・村上 克介 教授・苅田 修一 准教授・近藤 誠 三重大学大学院地域イノベーション学研究科 教授・末原憲一郎

要 旨

我が国の主食用米の需要量は国民ひとり当たりの消費量の低下と人口減少により、直近 5ヶ年(2014-2018)では毎年 10 万 t ずつ減少し、過去 10 年間(2009-2018 年)で主食用米の作付面積は 14% 低下している。一方、畜産経営における 2016 年の純国内産濃厚飼料自給率は 14% と低く、輸入飼料に大きく依存している。これらの現状を踏まえ、2015 年に閣議決定された食料・農業・農村基本計画では、水田を活用し、濃厚飼料の増産が可能な作目として飼料用米の生産を推進している。現時点での畜産農家における飼料用米の潜在的な需要量は生産量の 10 倍程度と見込まれているものの、主食用米に比べ取引価格が安いことから、飼料用米の取組みをより一層推進するためには単収向上および生産経費の低減によるコスト削減が喫緊の課題となっている。特に乾燥調製および保管流通経費は全経費の 29-40% を占めており、単収向上により多収を実現した際にも経費の削減が困難な玄米の重量当たりにかかる乾燥調製および保管流通経費の削減が重要である。

本研究では飼料用米の乾燥調製および保管流通経費の削減が可能な技術体系の構築を目的として、第 2 章では主食用米において実験室規模で検討されている玄米による乾燥技術の飼料用米への適応条件およびその有効性について、実用規模の機械を用いて検討するとともに、第 3 章では玄米乾燥した玄米を常温条件下(野外を含む)において通年保管するための保管条件を検討した。また、

第 4 章では体系化した玄米乾燥および常温保管技術について、経済性の面から効果的に運用するための条件を提示するとともに、乾燥調製および保管流通経費を慣行体系や経費削減が可能とされる立毛乾燥および籾米サイレージと比較検討することで本技術の有効性を明らかにすることを目的とした。

乾燥調製に関わる第 2 章では、インペラ式摺り機での生籾米の脱ぶ作業は籾米水分で 16.8-30.8% の範囲内で可能であること、籾米水分が低下するほど流動性が改善し、脱ぶ能率および脱ぶ率が向上することから、圃場内で籾米水分を低下させてから収穫することが望ましいと考えられた。乾燥作業では、循環式乾燥機を用い、玄米水分が 19.3-23.4% の籾米を 13% まで乾燥させるために必要となる乾燥時間、灯油消費量、電力消費量を慣行体系と比較し、各項目とも 50% 以上削減されること、乾燥と脱ぶ作業を含む乾燥調製体系間の比較でも最終製品(玄米)の歩留まり、主な飼料成分、総 TDN 重量は同等で作業時間、電力消費量が 38% 削減されることが明らかとなった。

常温条件下での玄米による通年保管技術に関わる第 3 章では、玄米水分を 13% 以下とし、ポリプロピレン製の外袋とポリエチレン製の内袋を組合せ、内袋の口を強く縛り保管することで常温倉庫内および野外のいずれにおいても貯穀害虫および糸状菌を増殖させることなく、保管開始時の水分、乾物重、飼料成分値を維持したまま通年保管できることが明らかとなった。

経済性の評価に関わる第4章では、9石から82石の循環式乾燥機を用い、粳米水分25%から13%まで乾燥させる乾燥調製経費および常温条件下での保管に関わる経費を試算した。その結果、粳米乾燥と粳米による常温倉庫内の保管とを組合せた慣行体系では、乾燥経費が14.5-27.0円、保管経費が13.6円となり、乾燥調製および保管に係る費用合計は28.1-40.6円となった。一方で本研究において体系化した玄米乾燥と野外および倉庫内での玄米による常温保管とを組合せた場合には、乾燥経費が12.9-20.2円、保管経費が6.0-10.0円となり、費用合計は18.9-30.2円となった。このことから慣行の技術体系に比べ、玄米乾燥と常温保管を組合せた技術体系では乾燥調製および保管経費が削減できることが明らかとなった。経費削減が可能な玄米乾燥において乾燥経費をより一層削減するためには、可能な範囲内で立毛乾燥を併用し収穫時の粳米水分を低下させること、常温条件下において玄米での通年保管が可能な最高限度（13%程度）の玄米水分で乾燥を終了すること、

循環式乾燥機の規模を拡大することが有効であると示唆された。また、玄米乾燥後の保管経費を削減するためには、保管場所の経費を大幅に削減できる野外での保管が有効であると考えられた。経費削減が可能な先行研究との比較では、玄米乾燥は立毛乾燥に比べ乾燥調製経費を25.7%削減できることが見込まれた。さらに、乾燥調製（破碎を含む）、保管、輸送を含めた経費合計について、玄米乾燥と野外保管を組合せた技術体系を粳米サイレージと比較すると、県内流通ではほぼ同等の経費となり、200kmを超える広域流通では粳米に比べ減容化が可能な前者において経費削減が可能と試算された。

これらのことから、本研究によって構築された玄米乾燥と野外保管とを組合せた技術体系は、乾燥調製経費と輸送も含めた保管経費を削減する上で有効であり、生産コストの低減が強く求められる飼料用米において合理的な作業体系であると結論付けた。