

科学研究費助成事業（科学研究費補助金）研究成果報告書

平成 25 年 6 月 1 日現在

機関番号：17701

研究種目：基盤研究（C）

研究期間：2010～2012

課題番号：22510033

研究課題名（和文） 環境変動が温帯性海藻分布南限群落の群落形成に及ぼす影響

研究課題名（英文） Effect of the environmental change on the temperate marine plants communities at the southern distributional limit

研究代表者

寺田 竜太（TERADA RYUTA）

鹿児島大学・水産学部・准教授

研究者番号：70336329

研究成果の概要（和文）：九州南部は温帯と亜熱帯性海産植物の分布推移帯（エコトーン）に位置し、温帯域に見られる種類の多くは当地が分布南限となっている。本研究では、温帯域で藻場を構成する 16 種の分布南限群落の個体群動態を明らかにすると共に、培養試験や光合成活性の結果を基に、温度や光の耐性やストレスの影響を解明した。光合成活性の測定は、藻場構成種 16 種と共に食用紅藻 9 種も用い、様々な水温、光条件における純光合成速度や光量子収率（Fv/Fm）、電子伝達速度活性（rETR）を測定した。その結果、分布南限の個体群では寿命の短命化や繁茂期間の短縮などが顕著に見られ、高水温の環境が各種の繁茂に影響を与えていると推察された。多くの種において、純光合成速度や Fv/Fm、rETR は 28℃ 以上で低下し、最高 30℃ に達する生育地の夏季水温がこれ以上増加すると、群落の生残に著しい影響が出る可能性が示唆された。

研究成果の概要（英文）：Kyushu Island is known as the southernmost limit for commonly known temperate seaweeds and seagrass in Japan. There is concern that continued changes in the coastal environment caused by climate change may drive shifts in species composition in this region. This study focused on determining the community characteristics of 16 temperate species at their southern distributional limit. Furthermore, temperature tolerance of these species and 9 edible red algae were determined by examining photosynthetic performances using the dissolved oxygen sensors and pulse amplitude modulated-chlorophyll fluorometers. Net photosynthetic rates of these species significantly decreased at more than 28°C. Maximum quantum yield (Fv/Fm) and relative electron transport rate (rETR) of each species also decreased at temperatures beyond these temperatures. Highest seawater temperature in Kagoshima Bay was around 30°C, suggesting that further increase in seawater temperature might influence its photosynthetic activity and contribute to the degradation of the community.

交付決定額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2010 年度	1,800,000	540,000	2,340,000
2011 年度	1,400,000	420,000	1,820,000
2012 年度	300,000	90,000	390,000
総計	3,500,000	1,050,000	4,550,000

研究分野：環境学

1. 研究開始当初の背景

高密度な海藻群落である藻場は、沿岸域における主要な基礎生産者であるとともに、種多様性の高い空間を形成している。特に、藻場は魚介類の生息場や産卵場として機能しており、水産資源の供給源としても重要視されている。南北に長い日本では、地域によって藻場構成種が大きく異なる。北海道では亜寒帯性のコンブ藻場が主体であり、本州中南部以南では温帯性種の藻場が見られる。一方、南西諸島では熱帯性種の藻場がサンゴ礁生態系の一部として生育する。

九州南部は、温帯性種と熱帯性種の分布境界域・推移帯（エコトーン）となっており、本海域を分布の南限や北限とする種が多く知られている。特に、“海中林”として知られる褐藻コンブ科海藻の温帯性種（カジメ、クロメ、アントクメ）は本海域を分布南限としており、これより南で景観的に卓越する藻場は褐藻ホンダワラ科海藻のガラモ場のみとなる。ガラモ場は温帯性種の藻場と熱帯性種の藻場に分けられるが、ヨレモクやノコギリモク、ジョロモク、ヤナギモク等の温帯性種も本海域が分布南限となっている。また、海産顕花植物のアマモもこの海域が分布南限であり、南西諸島では熱帯性の種類が分布する。藻場の景観や群落構造、立体的なスケールは構成種によって大きく異なることから、この海域ではわずかな緯度変化や生育環境で、海中の景観が著しく変化する。

近年、日本各地で生物相の変化が指摘されており、多くの報告で温暖化との関連が示唆されている。海藻・海草類の植生変化も危惧されているが、温帯と亜熱帯の境界域である九州南部では熱帯性種の増加と温帯性種の衰退が示唆されており、温暖化の影響をより強く受けることが懸念される。特に、温帯性種の分布南限群落は衰退や消失が危惧されることから、藻場植生の現状を的確に把握すると共に、今後の変動に関する影響評価が求められている。

南限群落の衰退が最も懸念される種としてアントクメがあげられる。本種は日本産コンブ科海藻で最も南に分布域を持つ種であり、本州中南部太平洋岸から九州南東部沿岸、九州西岸に分布する。本種は1960年代まで種子島での生育が確認されているが、最近10年間の調査で消失した。現在の南限群落は九州南部の串木野と志布志だが、他の生育地と比べて低密度、小型の傾向にあり、今後の変化が懸念される。

藻場構成種の急激な変化の要因の一つと

して、水温の変化と温度耐性との関連が考えられる。九州南部の枕崎や志布志の平均水温は過去30年間で約1.5°C上昇しており、夏季水温が温帯性海藻の成熟や胞子の生残・成長に影響を与えている可能性が考えられる。また、胞子の生残率の低下や成長阻害は翌年の個体群密度や体サイズに影響し、長期的な衰退に影響する。一方、密度の低下は藻場内の流動にも影響を与えると推察される。藻場内の流動は、藻場の形成や各個体からの胞子拡散・受精機会に影響を与えると考えることから、温度以外の要因も加わって藻場の衰退が加速することが懸念される。さらに、水温環境の変化は魚介類構成種の変化や行動、食圧等の季節性にも影響を与えると考えられており、南限群落の消失に影響を及ぼす外的要因として重要視されている。

2. 研究の目的

本研究では、九州南部が分布南限である褐藻コンブ目3種（クロメ、アントクメ、ワカメ）、ホンダワラ科12種（ジョロモク、ヤナギモク、トゲモク、ノコギリモク、ヨレモクモドキ、ヤツマタモク、マメタワラ、コブクロモク、キレバモク、コナフキモク、イソモク、ヒジキ）、海産顕花植物1種（アマモ）を材料として、各種南限群落における個体群動態の特異性と生育環境を明らかにするこ

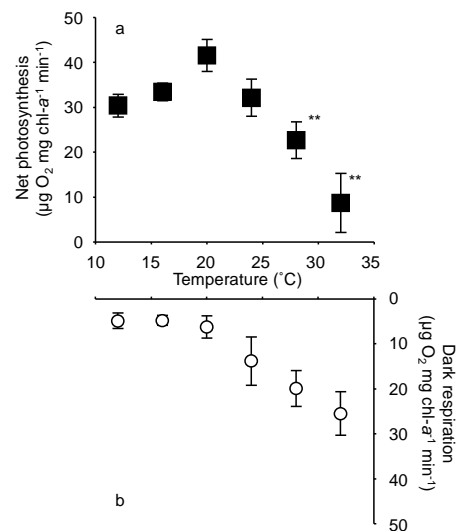


Fig. 1. 各水温におけるアマモの純光合成速度 (a) と呼吸速度 (b)。Mean SD。

とを第一の目的とした。

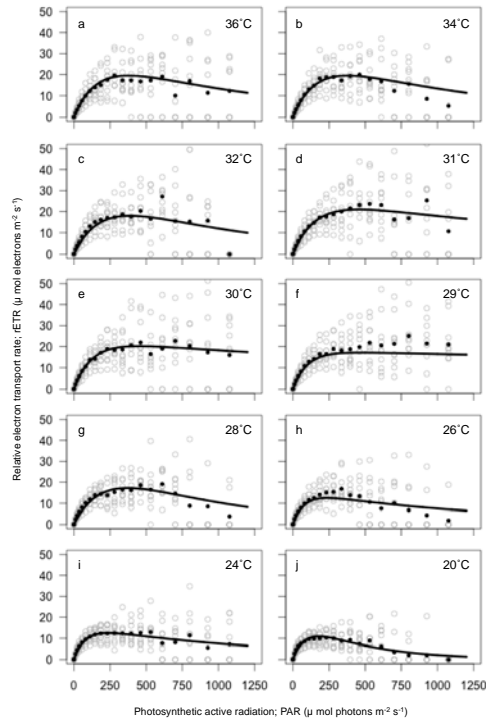


Fig. 2. 各水温、光条件におけるアマモの電子伝達速度活性 (rETR)。

また、南限個体群の温度・光耐性を明らかにすることを第二の目的とし、培養試験や純光合成速度の測定、パルス変調クロロフィル蛍光測定法を用いて各種の温度や光に対する耐性やストレスを明らかにすることを試みた。これらの研究には上述の藻場構成種に加え、当海域や南西諸島、東南アジアで採取されている資源紅藻類 8 種 (アサクサノリ、トゲキリンサイ、キリンサイ、カタメンキリンサイ、トサカノリ、キクトサカ、マクサ、オバクサ、リュウキュウオゴノリ) も併せて用いた。

3. 研究の方法

個体群動態の調査は SCUBA を用い、群落密度や体サイズ、成熟の季節変化について明らかにした。また、各群落には水温と光のロガーを設置し、生育環境の季節変化も併せて把握した。

南限個体群や食用紅藻の光や温度耐性の解明では、培養試験と共に光合成活性を測定した。光合成活性は酸素電極を用いた純光合成速度や呼吸速度の測定と共に、パルス変調クロロフィル蛍光測定法を用いて光化学系 II の光量子収率 (Fv/Fm) と電子伝達速度活性 (rETR) を測定した。また、実験系による光合成活性の把握と共に、天然に生育する群落全体の光合成活性を把握することも試みた。

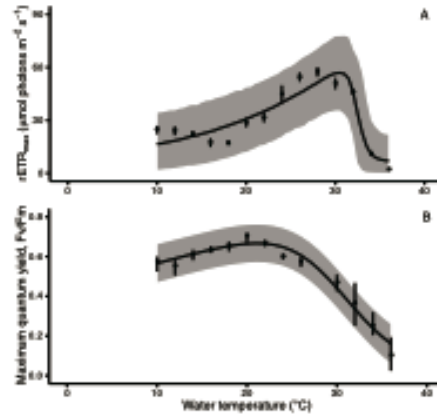


Fig. 3. 各水温条件におけるワカメの電子伝達速度活性 (rETRmax) と光量子収率 (Fv/Fm)。

4. 研究成果

南限群落の個体群動態は、鹿児島市桜島 (ヒジキ、ヤツマタモク、マメタワラ、キレバモク、コブクロモク) 指宿市 (アマモ、コナフキモク、イソモク、ワカメ)、鹿児島県長島町 (アントクメ、ヨレモクモドキ、ヒジキ)、熊本県苓北町 (ジョロモク、ヤナギモク、トゲモク、ノコギリモク、クロメ) の各種群落で調査した。各種とも、概ね冬から春にかけて生長・成熟する季節性を示したが、出現や消失期、生育水深は種類によって多様性だった。

アマモは一般に複数年にわたって繁茂する多年生の生活史を持つが、指宿市のアマモ南限個体群は夏季に地下茎も含めて枯死し、短命で単年性の季節性を持つことが確認された。純光合成速度と光量子収率はいずれも 20°C で最高値を示し、それ以上およびそれ以下の温度では低下した (Figs 1-2)。特に、28°C 以上の温度では 20°C と比べて有意に低くなり、温度によるストレス状態であることが示唆された。南限群落の最高水温は 30°C に達していることから、夏季の高水温がアマモの生残に影響を与えている可能性が示唆された。

ワカメは北海道から九州にかけて広く分布するが、指宿市の群落は分布の南限に位置する。ワカメは冬から春に繁茂する単年性の季節性を有するが、関東地方では 11 月頃、三重県では 12 月頃から見られるようになる。一方、指宿市の南限群落は出現時期が 1-2 月と他地域よりも遅かった。また、成熟藻体は 4 月頃に多く見られ、6 月までに枯死したことから、繁茂期間が他地域よりも短いことが示唆された。配偶体の培養試験と胞子体の光合成活性の結果から、秋から初冬にかけての水温の高止まりが配偶体の成熟や幼胞子体の出現を遅らせていると示唆された一方、初

夏の水温上昇によって他地域よりも早く消失していることが推察された (Fig. 3)。アマモやワカメに見られる短命化や繁茂期間の変化はヤツマタモクやマメタワラ、ヒジキなどの種類でも見られ、高水温の環境が影響していることが推察された。

鹿児島湾中央部で毎日計測した過去 38 年分の水温データを解析した結果、夏季水温、冬季水温、年間平均水温の過去 38 年間の変化直線に回帰させると、いずれも傾きが正となった。特に、冬季水温は傾きが 0 でないことに対して有意となり、1°C 以上上昇していた。この結果は、外海に面した枕崎や志布志における水温の長期的な上昇と似ており、内湾においても水温が長期的に上昇していることが推察された。

トサカノリやアントクメなどの種類は水深 5m から 30m にかけて生育するが、生育帯の中心は水深 10m 前後である。純光合成速度と電子伝達速度から得られた光曲線を解析した結果、光合成曲線の初期勾配は高水温ほど低下する傾向が見られた。この結果から、最大光合成速度 (P_{max} や ETR_{max}) に達するには、高水温環境ほどより強い光が必要になることが示唆され、群落は長期的な水温上昇によって生育下限水深が浅くなると推察された。すなわち、藻場の消失は浅所から発生するのではなく、深い場所から失われていることを示唆しており、今後のモニタリングに際して貴重な指標になりうると評価された。

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 11 件)

1. Watanabe, Y., Nishihara, G. N., Tokunaga, S and Terada, R. Phenology, light and temperature characteristics of a native alga, *Undaria pinnatifida* (Laminariales), at the southern limit of its natural distribution in Japan. *Hydrobiologia* (Accepted).
2. 中島広樹・田中敏博・吉満敏・寺田竜太 2013. 鹿児島県笠沙におけるにおけるホンダワラ属藻類 3 種の季節変化と藻場垂直分布の長期変化. *藻類* 61 : 97-105 2013 年 7 月
3. Terada, R., Inoue, S. and Nishihara, G. N. The effect of light and temperature on the growth and photosynthesis of some Japanese Gracilariaceae (Gracilariales, Rhodophyta) from geographically separated locations. *J. Appl. Phycol.* DOI: 10.1007/s10811-013-0030-7. 2013 年 4 月
4. Lideman, Nishihara, G. N., Noro, T. and Terada, R. 2013. Effect of temperature and light on the photosynthesis of cultured

Euclima denticulatum and *Kappaphycus* sp. (Sumba strain) from Indonesia. *J. Appl. Phycol.* 25 (2): 399-406. DOI:

10.1007/s10811-012-9874-5. 2013 年 4 月

5. 田中敏博・吉満敏・今吉雄二・石賀好恵・寺田竜太 2013. 鹿児島湾における藻場の分布と特性. *日本水産学会誌* 79(1): 20-30. 2013 年 1 月

6. Lideman, Nishihara, G. N., Noro, T. and Terada, R. Effect of Temperature and light on the photosynthetic performance of *Meristotheca coacta* Okamura and *Meristotheca papulosa* J. Agardh (Solieriaceae, Rhodophyta) from Japan. *水産増殖* 60: 377-388. 2012 年 9 月

7. 河野敬史・猪狩忠光・今吉雄二・田中敏博・徳永成光・吉満敏・寺田竜太 2012. 薩南諸島と近傍における温帯性および熱帯性海産頭花植物の分布. *水産増殖* 60: 359-369. 2012 年 9 月

8. 河野敬史・Nishihara, G. N.・寺田竜太 2012. 日本産アマモ *Zostera marina* の分布南限群落における季節的消長と光合成特性. *日本水産学会誌* 78 (4) : 692-704. 2012 年 7 月

9. 土屋勇太郎・Nishihara, G. N.・寺田竜太 2012. 酸素電極法とパルス変調クロロフィル蛍光法を用いた鹿児島産ホンダワラ属 (ヒバマタ目) 藻類 5 種, マメタワラ, ヤツマタモク, ヒジキ, コブクロモク, キレバモクの光合成・温度特性. *日本水産学会誌* 78 (2) : 189-197. 2012 年 3 月

10. Lideman, Nishihara, G. N., Noro, T. and Terada, R. 2011. In vitro growth and photosynthesis of three edible seaweeds, *Betaphycus gelatinus*, *Euclima serra* and *Meristotheca papulosa*, (Solieriaceae, Rhodophyta). *水産増殖* 59: 563-571. 2011 年 12 月

11. 土屋勇太郎・坂口欣也・寺田竜太. 2011. 鹿児島湾桜島におけるホンダワラ属 (ヒバマタ目) 藻類 4 種, マメタワラ, ヤツマタモク, コブクロモク, キレバモクの季節的消長と生育環境. *藻類* 59: 1-8. 2011 年 3 月

[学会発表] (計 31 件)

1. 藤本みどり・Nishihara, G. N.・寺田竜太. 日本およびタイ産テングサ類数種の光合成特性. 日本藻類学会大 37 回大会. 甲府市. 2013 年 3 月 27-29 日.
2. 渡邊裕基・Nishihara, G. N.・寺田竜太. 九州西岸の海藻・サンゴ混生群落に見られるホンダワラ類と造礁サンゴ数種の光合成特性. 日本藻類学会第 37 回大会. 甲府市. 2013 年 3 月 27-29 日.
3. 寺田竜太・渡邊裕基. 九州西岸の藻場と造礁サンゴ群集における両者の混生パターン

- ン. 日本藻類学会第 37 回大会. 甲府市. 2013 年 3 月 27-29 日.
4. Terada, R., Nishihara, G.N. Characteristics of the marine plant communities at the boundary zone between temperate and subtropical regions of Japan, in relation to climate changes. International Symposium including Field Workshops, Biodiversity in Changing Coastal Waters of Tropical and Subtropical Asia. Reihoku, Kumamoto, Japan. 2012 November 30 – December 5.
 5. Nishihara, G.N., Terada, R. Directly assessing the net ecosystem production in a *Sargassum* canopy. International Symposium including Field Workshops, Biodiversity in Changing Coastal Waters of Tropical and Subtropical Asia. Reihoku, Kumamoto, Japan. 2012 November 30 – December 5.
 6. Watanabe, Y., Nishihara, G. N., Terada, R. Phenology, environment and temperature tolerance of a temperate Japanese alga, *Undaria pinnatifida*, at the southern limit of its natural distribution. International Symposium including Field Workshops, Biodiversity in Changing Coastal Waters of Tropical and Subtropical Asia. Reihoku, Kumamoto, Japan. 2012 November 30–December 5.
 7. 北村祥明・寺田竜太. 鹿児島県長島西岸における藻場の垂直分布の特性. 平成 24 年度日本水産学会秋季大会. 2012 年 9 月 15-16 日. 下関市.
 8. 倉堀宇弘・Nishihara, G. N.・寺田竜太. 鹿児島湾産イソモクの生理生態. 平成 24 年度日本水産学会秋季大会. 2012 年 9 月 15-16 日. 下関市.
 9. 鹿田創空・Nishihara, G. N.・寺田竜太. 漸深帯に生育する鹿児島産海藻 4 種の光合成特性. 平成 24 年度日本水産学会秋季大会. 2012 年 9 月 15-16 日. 下関市.
 10. 倉堀宇弘・Nishihara, G. N.・寺田竜太. 鹿児島湾産コナフキモクの生理生態. 日本藻類学会第 36 回大会. 2012 年 7 月 13-15 日. 札幌市.
 11. 渡邊裕基・Nishihara, G. N.・寺田竜太. 日本産ワカメ分布南限個体群の生理生態と生育環境. 日本藻類学会第 36 回大会. 2012 年 7 月 13-15 日. 札幌市.
 12. Nishihara, G. N.・木村竜太郎・寺田竜太・長尾誠也. Estimating the primary production of *Sargassum* forests and *Zostera* meadows. 日本藻類学会第 36 回大会. 2012 年 7 月 13-15 日. 札幌市.
 13. 河野敬史・Nishihara, G. N.・寺田竜太. 薩南諸島における海産顕花植物の分布と光合成活性. 日本水産学会九州支部会. 2012 年 1 月 22 日. 鹿児島市.
 14. 河野敬史・Nishihara, G. N.・Terada, R. 分布南限域におけるアマモの季節消長と光合成活性の季節変化. 全国アマモサミット 2011. 2011 年 11 月 20 日. 大阪市.
 15. 倉堀宇弘・Nishihara, G. N.・寺田竜太. 鹿児島湾南東部における海産植物の分布構造と主要構成種コナフキモクの光合成特性. 平成 23 年度日本水産学会秋季大会. 2011 年 9 月 28-10 月 2 日, 長崎市.
 16. 河野敬史・Nishihara, G. N.・寺田竜太. アマモの分布南限群落の個体群動態と光合成特性. 平成 23 年度日本水産学会秋季大会. 2011 年 9 月 28-10 月 2 日, 長崎市.
 17. Nishihara, G. N.・寺田竜太. A Bayesian method to determine the optimal temperature of photosynthesis and growth. 日本藻類学会第 35 回大会. 2011 年 3 月 26-28 日. 富山市.
 18. Lideman・Nishihara, G. N.・寺田竜太・Noro, T. Effect of light intensities and temperature on the photosynthesis of *Kappaphycus* and *Eucheuma* from Indonesia and Japan. 日本藻類学会第 35 回大会. 2011 年 3 月 26-28 日. 富山市.
 19. 今井麻衣・寺田竜太・Nishihara, G. N.・藤田大介. パルス変調クロロフィル蛍光測定法を用いた紅藻オゴノリ科数種の光合成特性. 日本藻類学会第 35 回大会. 2011 年 3 月 26-28 日. 富山市.
 20. 鈴木智博・Nishihara, G. N.・川島千明・倉堀宇弘・天野裕平・土屋勇太郎・寺田竜太. 温帯性ホンダワラ科藻類数種の分布南限域における光合成特性. 日本藻類学会第 35 回大会. 2011 年 3 月 26-28 日. 富山市.
 21. Nishihara, G. N.・寺田竜太. Measuring primary productivity of *Sargassum* canopies in an open-channel flow-chamber. 日本藻類学会第 35 回大会. 2011 年 3 月 26-28 日. 富山市.
 22. 河野敬史・Nishihara, G. N.・寺田竜太. 分布南限におけるアマモの温度耐性と生育環境の季節変化. 平成 22 年度日本水産学会九州支部大会. 2011 年 1 月 22 日. 鹿児島市.
 23. 天野裕平・土屋勇太郎・Nishihara, G. N.・寺田竜太. パルス変調クロロフィル蛍光法と酸素電極法を用いた鹿児島・沖縄県産ヒジキの光合成温度耐性. 平成 22 年度日本水産学会九州支部大会. 2011 年 1 月 22 日. 鹿児島市.
 24. 土屋勇太郎・Nishihara, G. N.・寺田竜太. パルス変調を用いたクロロフィル蛍光法及び酸素電極法によるホンダワラ属藻類 4 種 (ヒバマタ目) の光合成特性. 平成 22 年度日本水産学会九州支部大会. 2011 年 1 月 22 日. 鹿児島市.
 25. 寺田竜太. サンゴ礁生態系における海産植

物の種多様性と群落構造の特性, 現状と課題. 日本サンゴ礁学会第 13 回大会公開シンポジウム「サンゴ礁の生物多様性を支える分類研究とその展開」. 2010 年 12 月 5 日. 茨城県つくば市.

26. 天野裕平・土屋勇太郎・Nishihara, G. N.・寺田竜太. 温帯亜熱帯推移帯におけるヒジキ(ヒバマタ目)の群落構造と季節的消長および温度耐性 特に環境変動に関連して. 全国アマモサミット 2010 in 鹿児島. 2010 年 11 月 11 日. 鹿児島県指宿市.
27. 河野敬史・Nishihara, G. N.・寺田竜太. 分布南限におけるアマモ *Zostera marina* L. の温度耐性と生育環境の季節変化. 全国アマモサミット 2010 in 鹿児島. 2010 年 11 月 11 日. 鹿児島県指宿市.
28. 土屋勇太郎・Nishihara, G. N.・寺田竜太. 温帯亜熱帯推移帯におけるホンダワラ属 4 種(ヒバマタ目)の群落構造と季節変化及び温度耐性. 全国アマモサミット 2010 in 鹿児島. 2010 年 11 月 11 日. 鹿児島県指宿市.
29. Amano, Y., Tsuchiya, Y., Nishihara, G. N., Terada, R. Community structure, seasonal changes and temperature tolerance of edible seaweed, *Sargassum fusiforme* (Fucales), at the boundary zone between temperate and subtropical region of japan, in relation to climate changes. UJNR Aquaculture Panel the 39th Scientific Symposium. The present and future of the aquaculture industry. 2010 年 10 月 25-26 日. 鹿児島市.
30. Tsuchiya, Y., Nishihara, G. N., Terada, R. Community structure, seasonal changes and temperature tolerance of four *Sargassum* species (Fucales) at the boundary zone between temperate and subtropical region of japan, in relation to climate changes. UJNR Aquaculture Panel the 39th Scientific Symposium. The present and future of the aquaculture industry. 2010 年 10 月 25-26 日. 鹿児島市.
31. 土屋勇太郎・天野裕平・Nishihara, G. N.・寺田竜太. 沖縄及び鹿児島産ヒジキの至適水温環境と乾燥耐性. 平成 22 年度日本水産学会秋季大会. 2010 年 9 月 22-25 日. 京都市.

6. 研究組織

(1) 研究代表者

寺田竜太 (TERADA RYUTA)
鹿児島大学水産学部・准教授
研究者番号: 70336329

(2) 研究分担者

ニシハラ・グレゴリー・ナオキ (NISHIHARA GREGORY N.)

長崎大学大学院水産・環境科学総合研究科附属環東シナ海環境資源研究センター・准教授
研究者番号: 40508321

(3) 連携研究者

畷田智 (SHIMADA SATOSHI)
お茶の水女子大学大学院人間文化創成科学研究科・准教授
研究者番号: 40322854