

研究報告編

報 文

長崎県における熱中症発生と気象との関連性 (2021 年度)

古賀 康裕, 福田 祥一

気候変動の影響の中でも熱中症による健康影響については、長崎県内でも死亡者が出ており対応は急務である。そこで、熱中症の地域特性を把握するため、気象庁観測地点よりも細かい地域ごとに、2020 年から 2022 年までの 3 年計画で気温および湿度を測定できるデータロガーにより気象観測を実施することとしている。2020 年、2021 年の 2 年間の観測した気象データより熱中症発生リスクの指標となる暑さ指数 (WBGT: Wet-bulb globe temperature) (以下「WBGT」という。) を推計したが、WBGT が高い地域が必ずしも熱中症による救急搬送者が多いわけではないことが判明した。この要因として、高齢者は熱中症の発症リスクが高いため、高齢者の割合が多い地域において、熱中症による救急搬送者が多い結果になっていることと、WBGT が高い地域では暑熱順化が比較的進みやすいため、WBGT が低い地域と比べると熱中症の発症が抑えられている可能性が示唆された。2021 年からは WBGT が 31 以上になると予想される日に、国が熱中症警戒アラートを発出することになっており、長崎県でも熱中症の発生を抑えるために効果的な普及啓発手法について検討していく必要がある。

キーワード: 熱中症、暑さ指数 (WBGT)、気象データ

はじめに

世界の年平均気温は 100 年あたり 0.73°C の割合で、日本の年平均気温は 100 年あたり 1.28°C の割合でそれぞれ上昇している¹⁾。世界中で温室効果ガスの排出を抑制する対策 (緩和策) に取り組んでいるが、最も厳しい温暖化対策を取ったとしても、世界の平均気温は上昇し、21 世紀末に向けて気候変動の影響のリスクが高くなると予想されている。このようなことから、緩和策を講じて回避できない気候変動の影響を予防・軽減するための対策 (適応策) の必要性が世界的に強調されている。

長崎市 (長崎地方気象台) においても年平均気温が 100 年あたり 1.50°C の割合で上昇しており²⁾、長崎県では、「第 2 次長崎県地球温暖化 (気候変動) 対策実行計画」を策定し、必要な取組を推進中である。環境保健分野では、自然生態系、健康影響などの分野で、より地域の実情に応じた対応が望まれているが、健康影響のうち特に熱中症に関しては、死亡者も出ており対応は急務であると考えられる。ここ 10 年の熱中症による救急搬送者数の推移を図 1 に示す。

熱中症の危険性は県内一様ではなく気象条件等による地域ごとの特性があるものと考えられるが、気象庁による長崎県内の観測地点は、気温が 18 地点 (本土 10 地点、離島 8 地点)、湿度が 6 地点 (本土 4 地点、離島 2 地点) であり、熱中症発生の地域特性の分析に

は、より地域に密着した気象観測を実施する必要があると考えられるため、2020 年から 2022 年までの 3 年計画で、気温および湿度を測定できるデータロガーを用いた気象観測を実施することとした。

本稿では、2021 年の気象観測結果および熱中症発生状況、それらの関連性について報告するとともに、2020 年、2021 年の 2 年間のデータを用いた地域ごとの発生状況の違いについても報告する

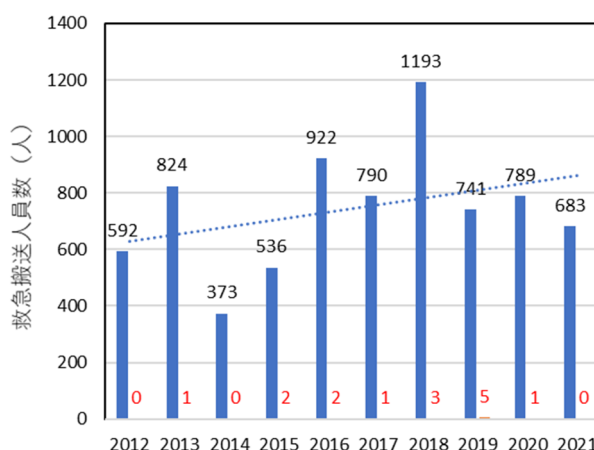


図 1 長崎県における熱中症による救急搬送者数 (赤字は死亡者数)

調査地点および方法

1 気象 (気温および湿度) の観測

表1、図2および図3に示す各観測地点において、データロガーを用い気温および湿度を観測した。2020年度の結果では島原半島地域の WBGT について高い傾向が見られたことから、島原半島地域に追加のデータロガーを設置し、密に測定することにした(地点番号40から59の地点)。なお、各観測地点は小学校であり、各校が所有している百葉箱もしくは当センター所

有の小型百葉箱を設置し、その中にデータロガーを設置した。

- ・観測機器:おんどり RTR-507S, RTR-507B (株ティアンドデイ)
- ・地点数:県内59地点
- ・観測期間:2021年7月~10月

表1 データロガーによる気象観測地点(地点番号は図2および図3の丸数字と対応)

地点番号	地点名	市町名	地点番号	地点名	市町名	地点番号	地点名	市町名	地点番号	地点名	市町名
1	南	長崎市	16	小浜	雲仙市	31	志佐	松浦市	46	川床	雲仙市
2	福田	長崎市	17	南串第二	雲仙市	32	福島養源	松浦市	47	大塚	雲仙市
3	山里	長崎市	18	第一	島原市	33	平戸	平戸市	48	愛野	雲仙市
4	野母崎	長崎市	19	大三東	島原市	34	志々伎	平戸市	49	千々石第一	雲仙市
5	外海黒崎	長崎市	20	口之津	南島原市	35	山田	平戸市	50	千々石第二	雲仙市
6	長浦	長崎市	21	布津	南島原市	36	福江	五島市	51	北串	雲仙市
7	西海東	西海市	22	富の原	大村市	37	有川	新上五島町	52	南串第一	雲仙市
8	時津北	時津町	23	黒木	大村市	38	盈科	壱岐市	53	第二	島原市
9	諫早	諫早市	24	彼杵	東彼杵町	39	鶏鳴	対馬市	54	第三	島原市
10	西諫早	諫早市	25	東	波佐見町	40	多比良	雲仙市	55	第四	島原市
11	伊木力	諫早市	26	早岐	佐世保市	41	土黒	雲仙市	56	第五	島原市
12	有喜	諫早市	27	柚木	佐世保市	42	八斗木	雲仙市	57	湯江	島原市
13	飯盛西	諫早市	28	船越	佐世保市	43	神代	雲仙市	58	野田	南島原市
14	小長井	諫早市	29	楠栖	佐世保市	44	岩戸	雲仙市	59	有馬	南島原市
15	鶴田	雲仙市	30	江迎	佐世保市	45	大正	雲仙市			

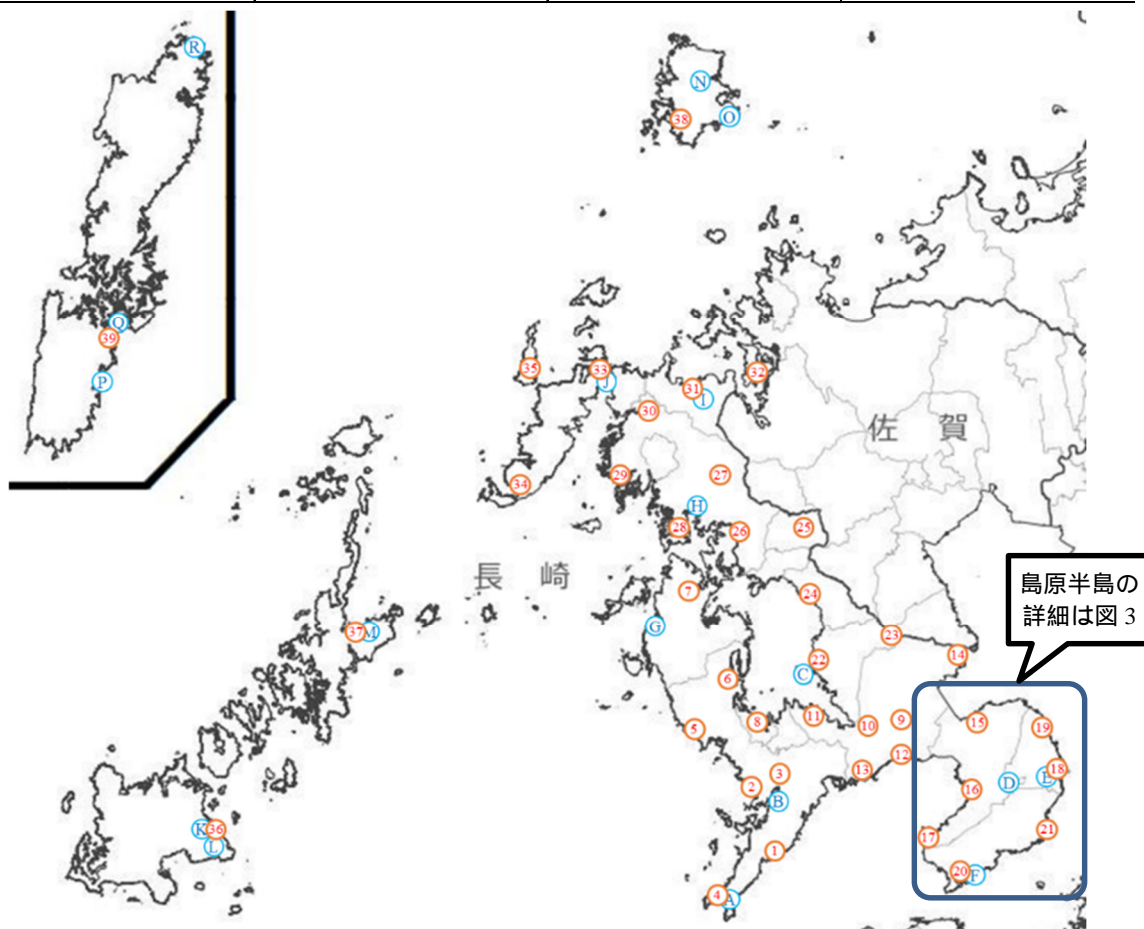


図2 データロガーによる気象観測地点(丸数字)および気象庁の観測地点(丸アルファベット)

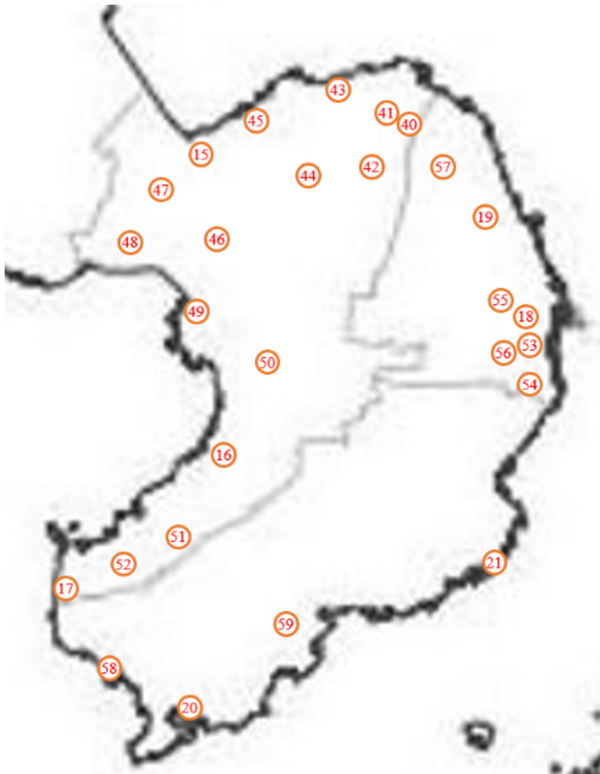


図 3 島原半島地域におけるデータロガーによる気象観測地点(丸数字)

2 WBGT の推計

気温および湿度を観測した 59 地点について、以下の式³⁾を用いて WBGT の推定値を計算した。

$$\text{WBGT} = 0.735 \times \text{Ta} + 0.0374 \times \text{RH} + 0.00292 \times \text{Ta} \times \text{RH} + 7.619 \times \text{SR} - 4.557 \times \text{SR}^2 - 0.0572 \times \text{WS} - 4.064$$

Ta: 気温 (°C)、RH: 相対湿度 (%)、

SR: 全天日射量 (kW/m²)、WS: 風速 (m/s)

観測した気温および湿度に加え、直近の気象庁観測地点における風速および全天日射量を用いた。直近の気象庁観測地点で全天日射量の観測が無い場合は、以下の式⁴⁾を用いて日照時間から全天日射量の推定値を計算した。

$$\text{SR}/\text{SR}_0 = 0.198 + 0.537 (n/N)$$

SR₀: 大気外水平面日射量 (kW/m²)、

n: 日照時間 (hour)、N: 日照時間 (hour)

3 熱中症発生状況の確認

熱中症の発生状況については、県消防保安室がとりまとめている熱中症による救急搬送者数に加え、県内 10 消防局・消防本部から提供を受けた熱中症による救急搬送者の詳細データを用いた。

結果及び考察

1 気温

各観測地点の気温の月平均値を図 4 に示す。観測

地点数はデータロガーによる観測地点 59 地点、気象庁 18 地点の計 77 地点だが、データロガーの不調や故障、百葉箱の破損等により、正常に観測できなかった 7 地点を除外している。

全体的に、県内では、島原半島の東側、長崎市から佐世保市にかけての大村湾周辺の地域において気温が高い傾向が見られた。

2 湿度

各観測地点の湿度の月平均値を図 5 に示す。地点数はデータロガーによる観測地点 59 地点、気象庁 6 地点の計 65 地点だが、データロガーの不調や故障、百葉箱の破損等により、正常に観測できていない 5 地点を除外している。

全体的に、県内では、標高が高く気温が低い地点(雲仙岳、黒木(大村市))や県西側の外海に面している地点(五島列島、対馬市、平戸市、西海市、長崎市南部等)で湿度が高い傾向が見られた。

3 WBGT の推計

WBGT は熱中症発生リスクの指標となるが、WBGT の日最高値が熱中症の救急搬送者数と強い相関があるため⁵⁾、各観測地点の WBGT の日最高値の月平均値を図 6 に示す。地点数はデータロガーによる観測地点 59 地点、気象庁の各観測項目を利用した環境省による推計値が発表されている 14 地点の計 73 地点だが、データロガーの不調や故障、百葉箱の破損等により、正常に観測できていない 7 地点を除外している。

全体的に、県内での傾向は気温と似た傾向を示していたほか、特に 8 月においては五島列島や南島原市、西海市で高い傾向が見られた。

また、「日常生活における熱中症予防指針」⁶⁾においては、熱中症発生の指標として WBGT を採用しており、「危険」(31°C 以上)、「厳重警戒」(28°C 以上 31°C 未満)、「警戒」(25°C 以上 28°C 未満)、「注意」(25°C 未満)の 4 段階の「温度基準域」に分けられている。2021 年夏期において WBGT の日最高値が特に高かった 7 月 11 日から 8 月 10 日の 1 か月間(図 10 参照)における WBGT の日最高値が、「危険」の基準である 31°C 以上になった日数を図 7 に示す。

県内での傾向として、島原半島の北側と南側の沿岸地域で、31°C 以上になった日数が多い地点が特に集中していた。これらの地域では、他の地域と比較して熱中症のリスクが高かった可能性がある。今後も注視していく必要があると思われる。

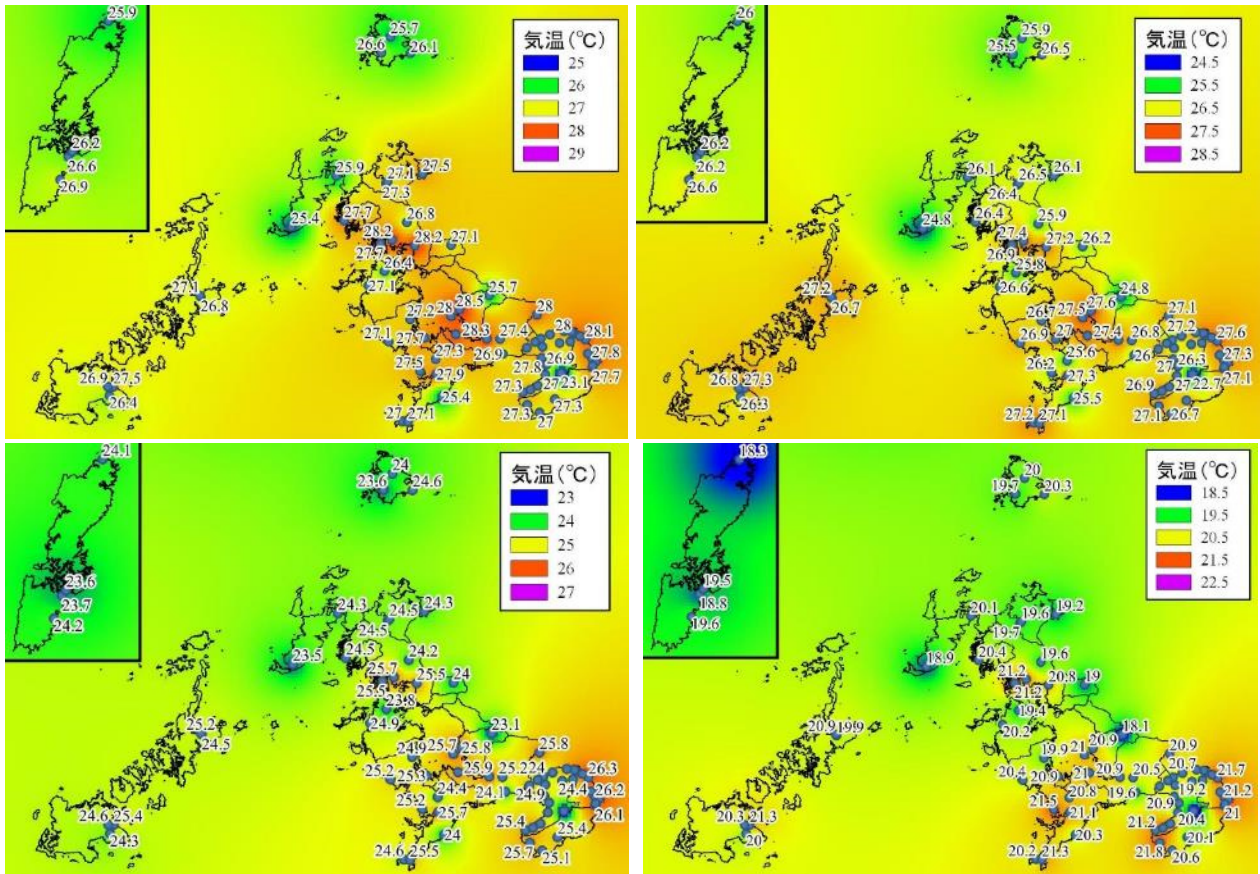


図4 各観測地点の月平均気温(左上:7月、右上:8月、左下:9月、右下:10月)

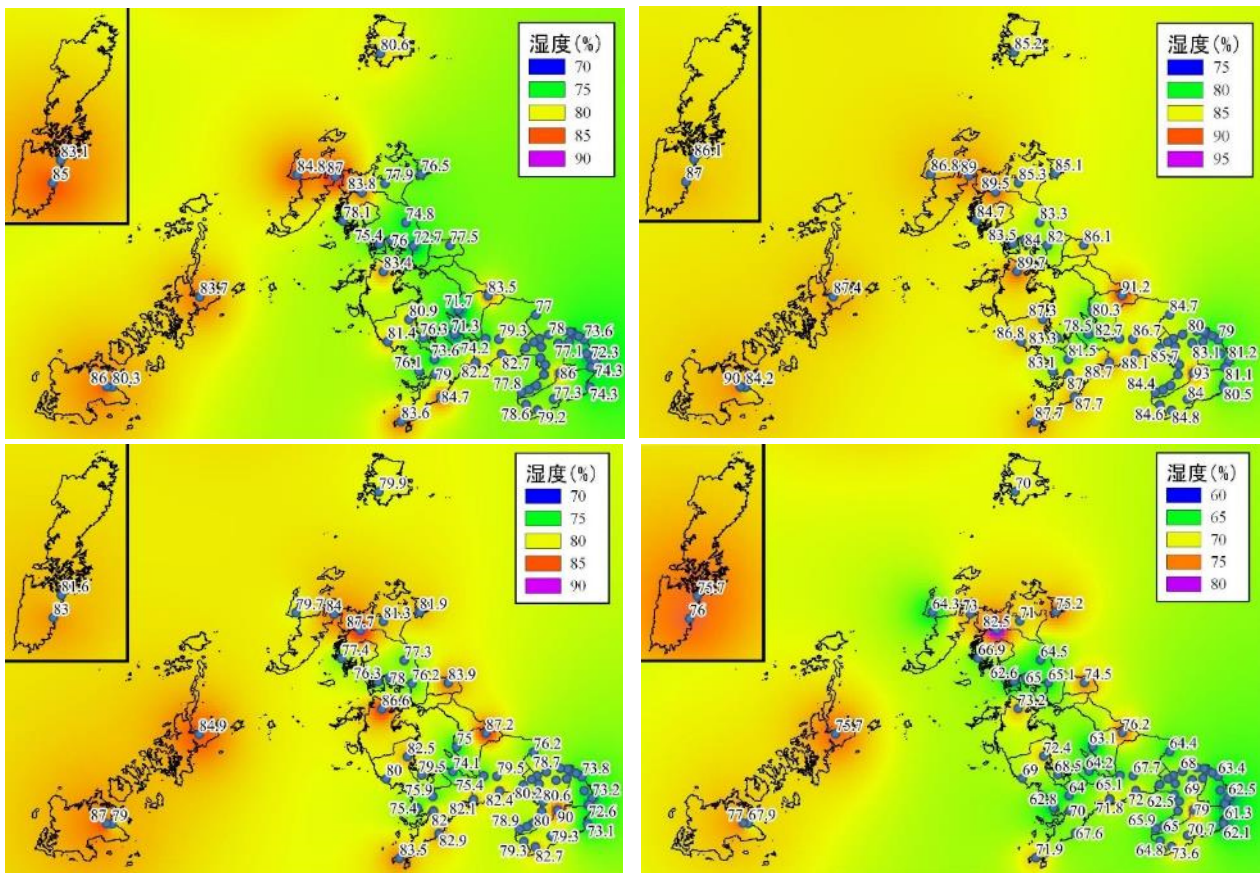


図5 各観測地点の月平均湿度(左上:7月、右上:8月、左下:9月、右下:10月)

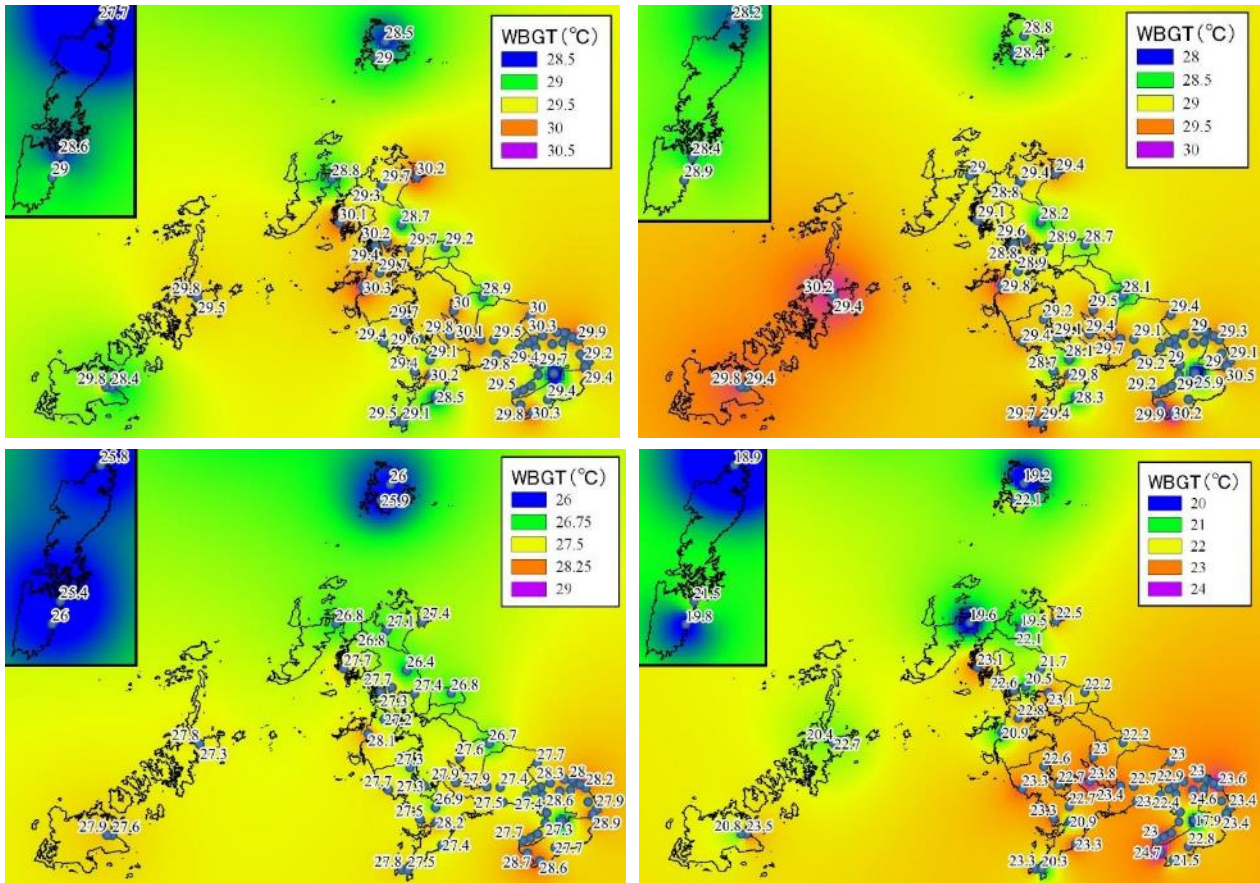


図 6 各観測地点の WBGT の日最高値の月平均値(左上:7月、右上:8月、左下:9月、右下:10月)

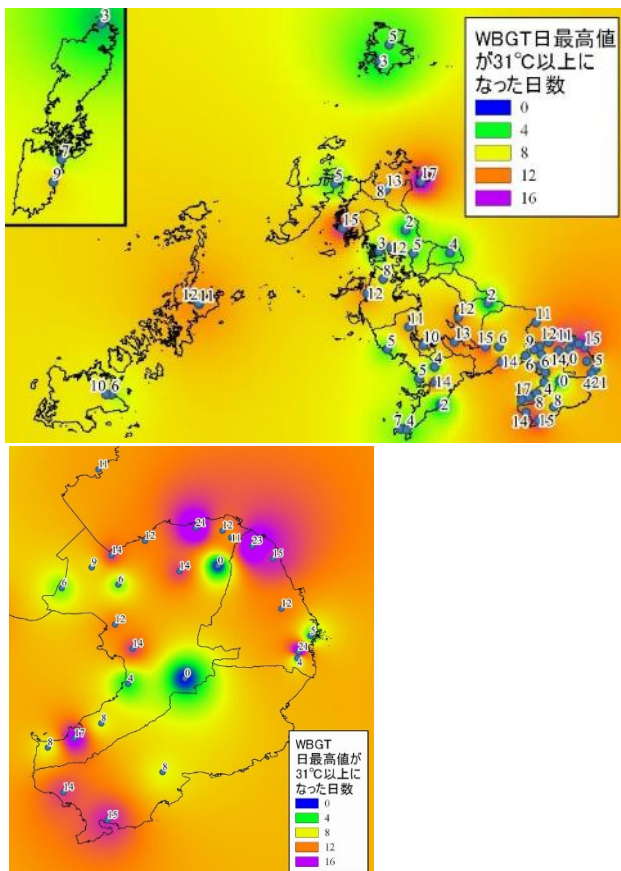


図 7 各観測地点の WBGT の日最高値が 31°C 以上になった日数(7月11日～8月10日の1か月間)
(上:県内全域、下:島原半島のみ拡大)

表 2 2021 年の月別の熱中症による救急搬送者数
(データ集計期間は 4 月 26 日から 10 月 3 日の間)

	4月	5月	6月	7月	8月	9月	10月	計
熱中症による長崎県内の救急搬送者数	2	25	88	272	237	54	5	683
うち死亡者数	0	0	0	0	0	0	0	0

4 熱中症発生状況

2021 年の長崎県内の熱中症による救急搬送者は 683 人で、死亡者が 0 人、重症者が 11 人であった。月別の熱中症による救急搬送者数を表 2 に、年代別の搬送者数を図 8 に、発生場所別の搬送者数を図 9 に示す。

月別の搬送者数では、6 月が 88 人と、2008 年の調査開始後で最も多い数となった。また、8 月が 237 人と、直近の 10 年で 2 番目に少ない数となった。これは 8 月の長雨の影響と考えられる。全体としてはここ 10 年で 7 番目に多い搬送者数であった。

搬送者の年代は、65 歳以上の高齢者が 56%、うち 75 歳以上が 39%を占める結果となった。年代別の人口比と比較すると、75 歳以上の搬送者が特に多いことが確認できる。

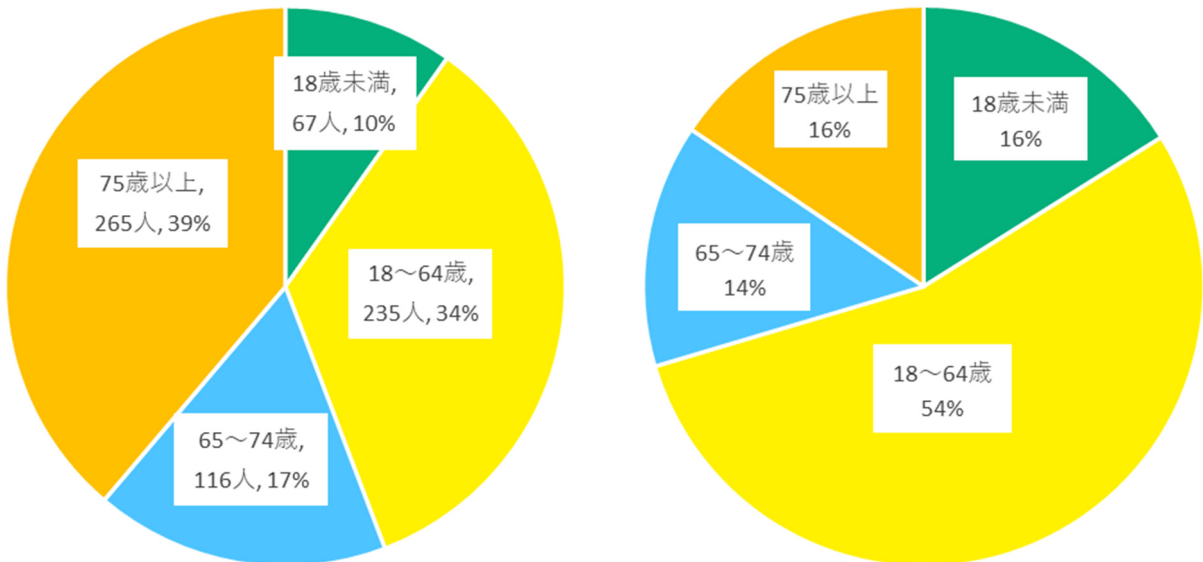


図8 2021年の長崎県内の熱中症による年代別の救急搬送者内訳(左)と年代別の人口比(右)

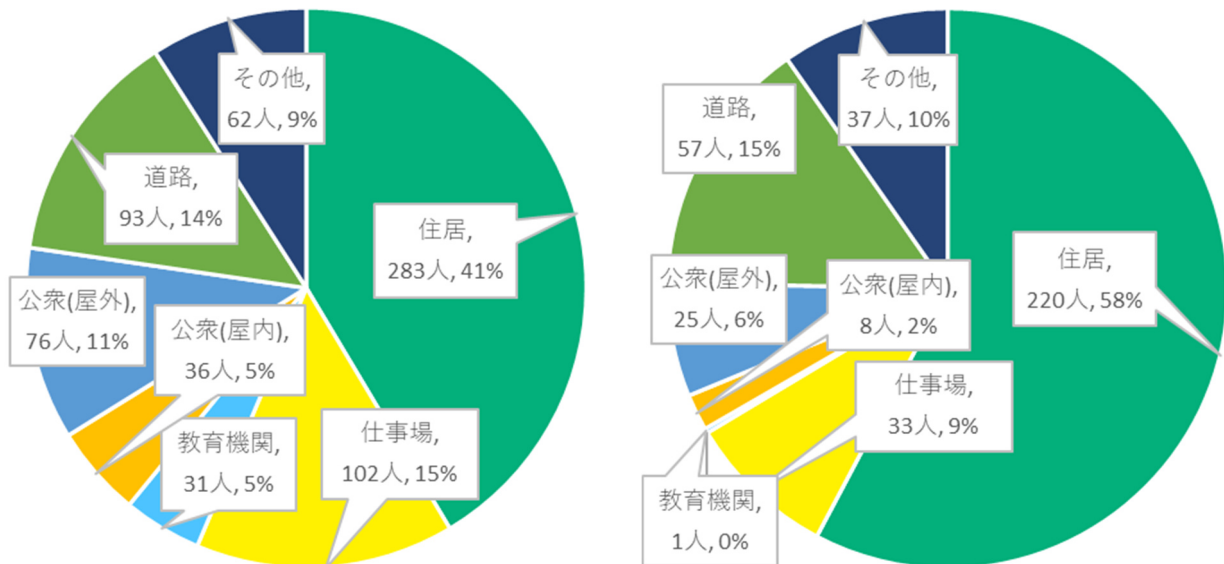


図9 2021年の長崎県内の熱中症による発生場所別の救急搬送者内訳(左:全年代、右:65歳以上)

発生場所については、住居が最も多く 283 人 (41%)、仕事場が 102 人 (15%)、道路が 93 人 (14%)、公衆の場所(屋外)が 76 人 (11%) の順となっていた。また、65 歳以上に限ると住居の割合が 58% と高くなり、高齢者が住居内で熱中症になっているケースが多いことが推測される。

5 WBGTと熱中症発生状況との関係

WBGT の日最高値(県内全地点の平均値)と、熱中症による救急搬送者の推移を図 10 に示す。7 月 13 日頃の梅雨明け後に WBGT の日最高値が高くなり、それに伴って救急搬送者数が増えている。さらに、WBGT の日最高値が急激に上がった日や最高

値を更新した日は搬送者が多い傾向があることが確認できる。

また、WBGT の日最高値(県平均)別の一日あたりの救急搬送者数(2020,2021 の 2 年間分)を図 11 に示す。2020 年と比較して 2021 年は WBGT が高い日の救急搬送者数が減っている。2021 年からは WBGT が 31 を超えると予想された日に、国による熱中症警戒アラートが発令されるようになっており、減少した要因の一つは、この熱中症警戒アラートにより熱中症に対する防護行動を取る人が増えた可能性が考えられる。

図 10 および図 11 により、WBGT が高くなることで、熱中症の発生が増加することが確認できた。

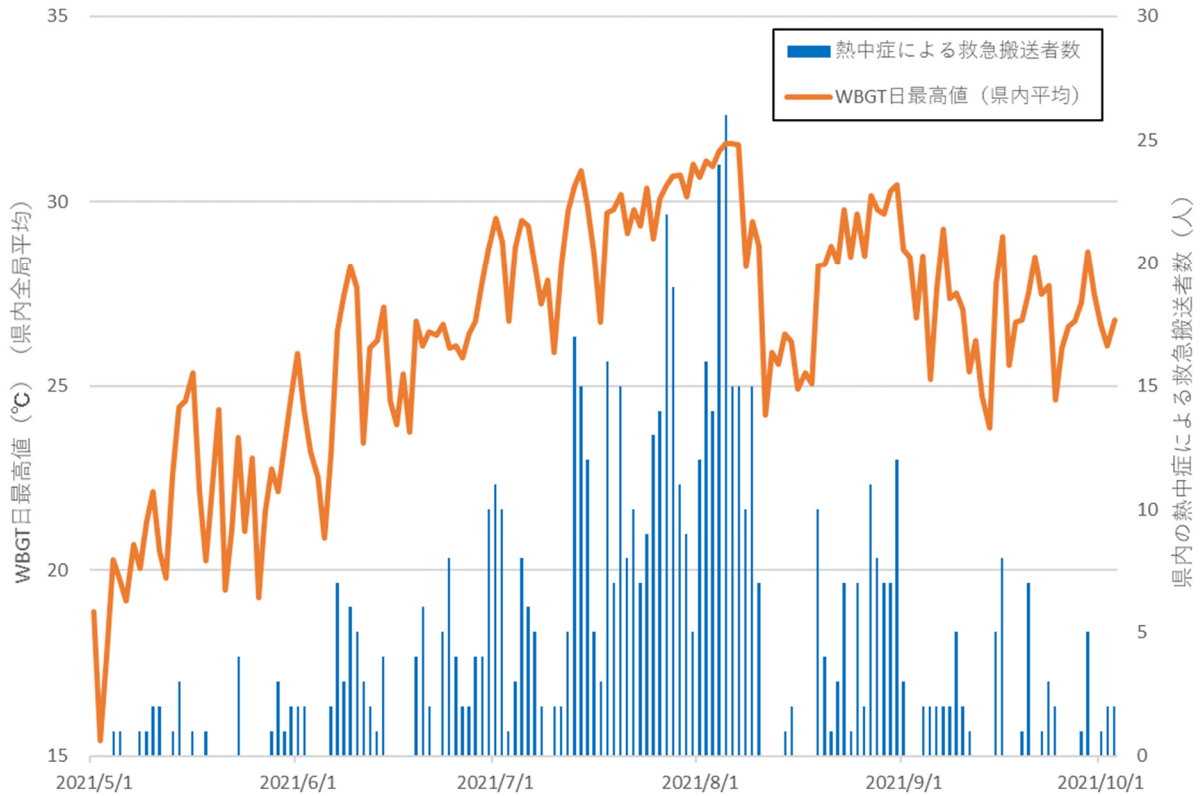


図 10 WBGT の日最高値(県平均)と熱中症による救急搬送者数の推移

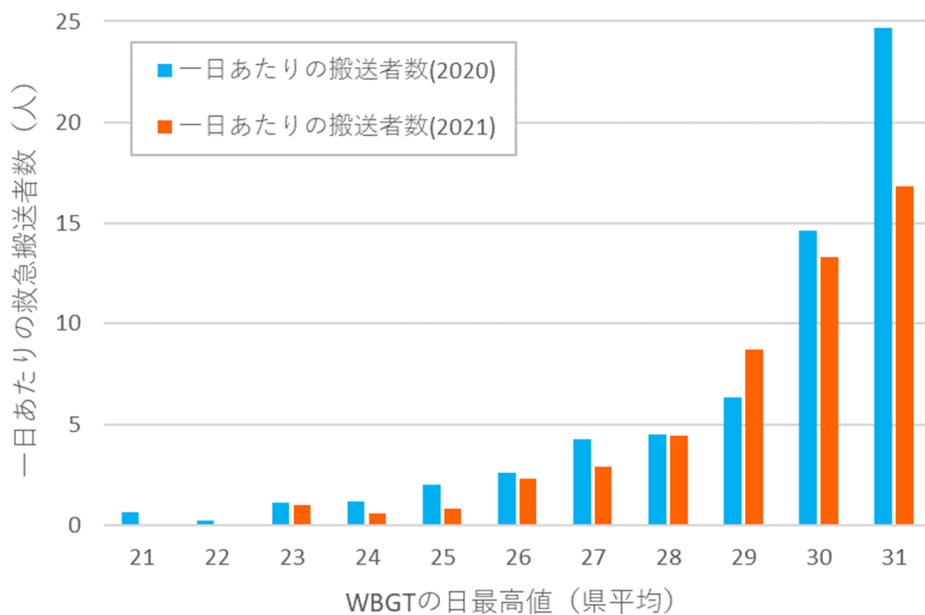


図 11 WBGT の日最高値(県平均)ごとの一日あたりの熱中症による救急搬送者数(2020,2021)

6 地域による熱中症発生状況の違い

県内 10 消防局・消防本部のそれぞれの管轄区域における、2020 年、2021 年の 2 年間合計の人口 10 万人あたりの熱中症による救急搬送者数を図 12 に、各消防局・消防本部の管轄区域を図 13 に示す。

人口が比較的少ない離島地域や松浦市および平

戸市の県北地域において、救急搬送者数が多かった。

各消防局・消防本部における熱中症による救急搬送者の年齢分布を図 14 に、人口の年齢分布を図 15 に示す。離島地域や県北地域の救急搬送者数が多い地域では、人口に占める 65 歳以上の高齢者の割合が多いため、救急搬送者が多くなる要因の一つになって

いると考えられる。

また、熱中症による救急搬送が発生した日の WBGT の日最高値について、県内で最も WBGT が高くなる地域である島原地域と最も低くなる対馬市を比

較した結果を表 3 および図 16 に示す。なお、WBGT の日最高値は、救急搬送者データを収集している全期間をカバーしている気象庁島原局、気象庁厳原局を、地域を代表する地点として使用した。

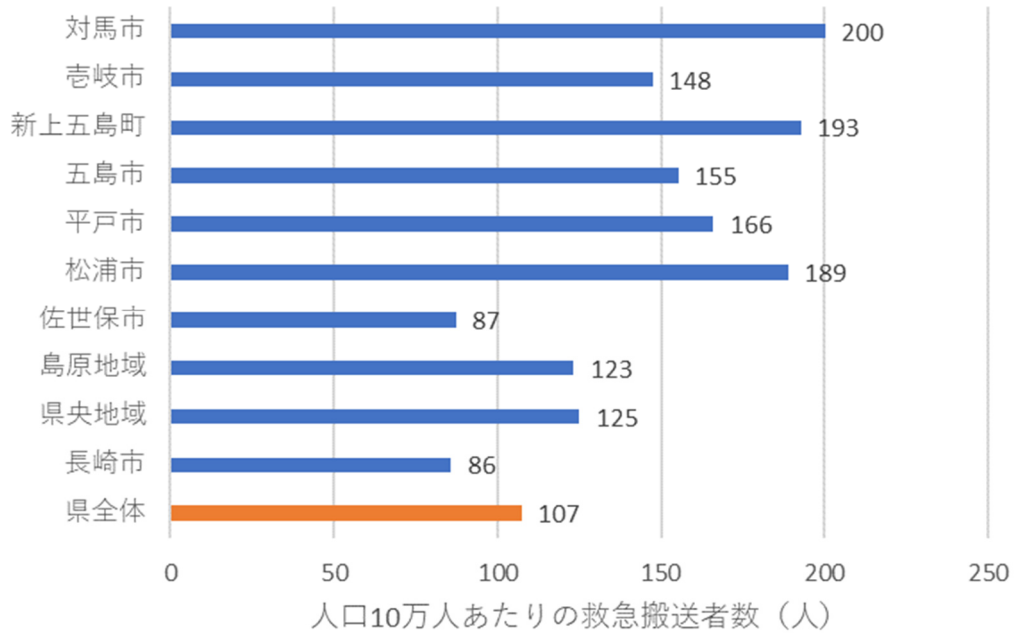


図 12 県内 10 消防局・消防本部における熱中症による救急搬送者数 (人口 10 万人あたり:2020 年、2021 年の 2 年間合計)

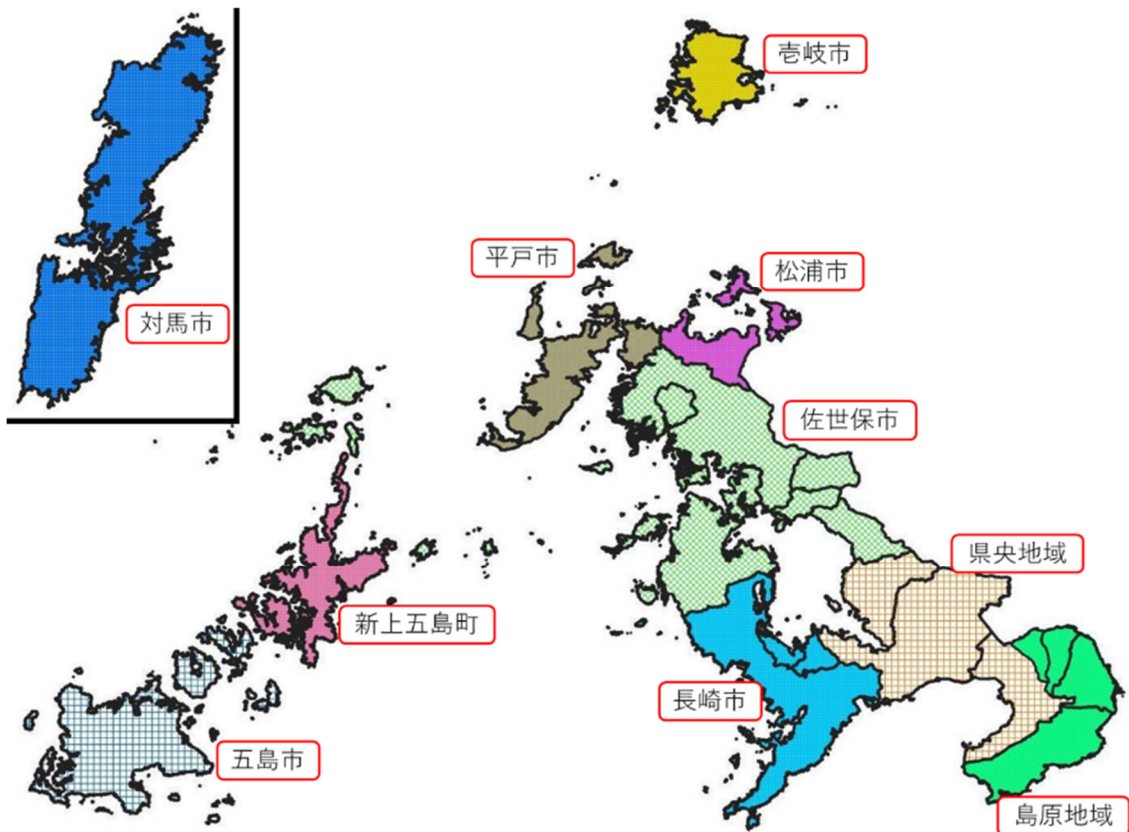


図 13 県内 10 消防局・消防本部の管轄区域

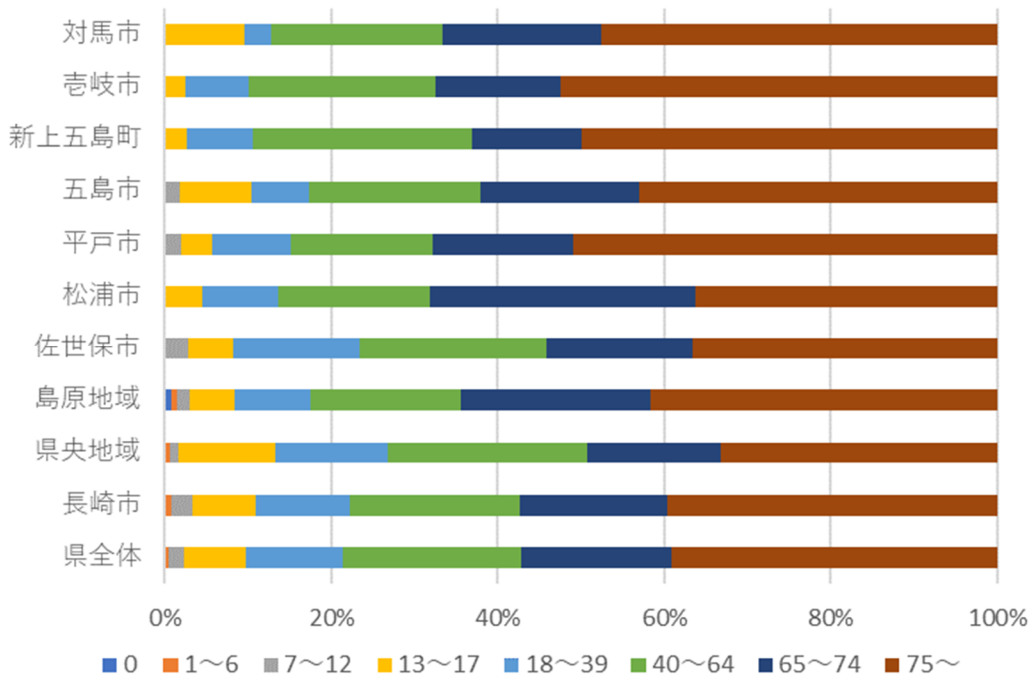


図 14 県内 10 消防局・消防本部における熱中症による救急搬送者の年齢分布 (2020 年、2021 年の 2 年間合計)

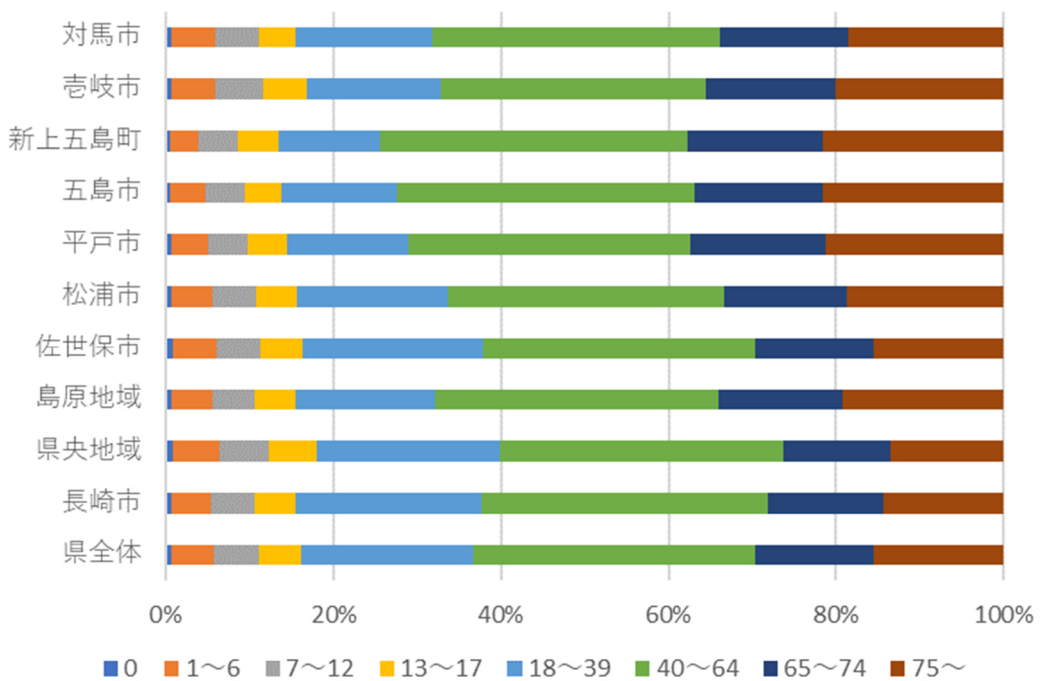


図 15 県内 10 消防局・消防本部における管轄区域の人口の年齢分布

表 3 島原地域と対馬市における救急搬送時の WBGT 日最高値(2020 年、2021 年 2 年分合計)

	救急搬送者数		人口 (H27)	救急搬送時のWBGT日最高値 ()	
	実数	人口10万人あたり		平均値	中央値
島原地域	132	123	106997	30.8	31.2
対馬市	63	200	31457	27.5	28.3

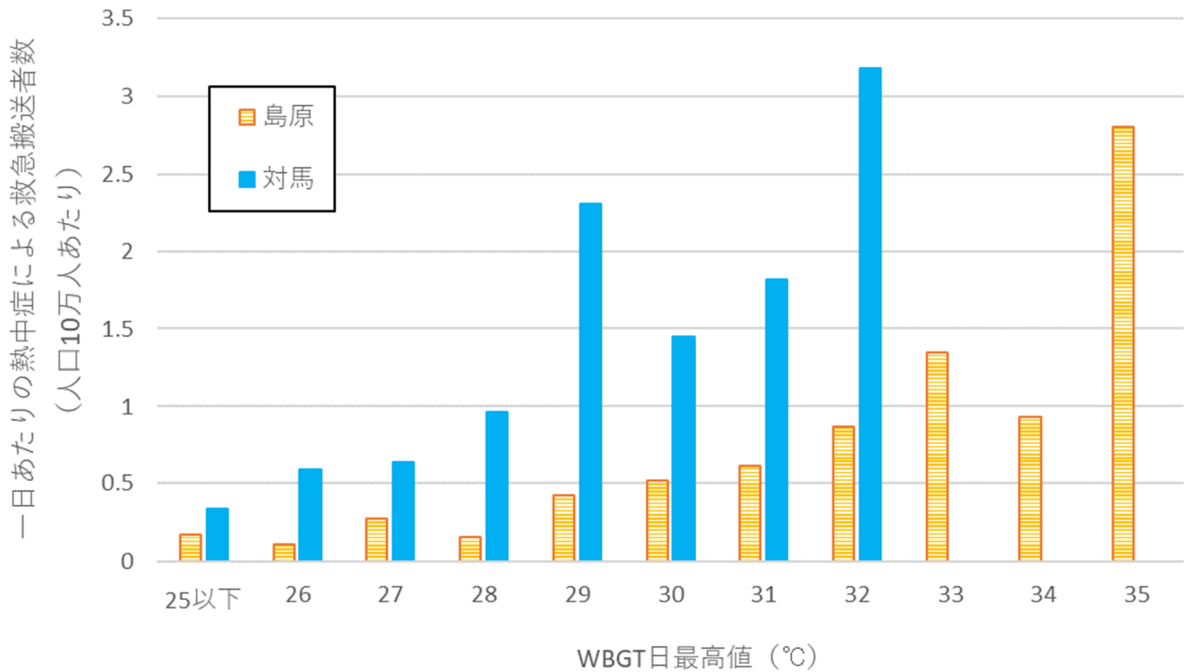


図 16 島原地域と対馬市における救急搬送時の WBGT の日最高値分布 (2020 年、2021 年 2 年分合計)

この結果によると、島原地域と比較して対馬市は WBGT 自体は低いものの、熱中症発生時の WBGT の日最高値も約 3 低く、同じ WBGT であっても熱中症の発生率が高いということが言える。

Gasparriani らの報告⁷⁾によると、夏期の前半と比較して、夏期の後半の方が熱中症リスクが減ることが明らかになっており、この要因の一つとして暑熱順化(人間の体が暑さに慣れること)が挙げられている。島原地域よりも涼しい対馬市の住民は、比較的暑熱順化が進んでおらず、その結果同じ WBGT であっても熱中症発生率が高くなる可能性があることが推測できる。

7 島原半島内での熱中症発生状況の違い

島原半島においては、2020年度の結果で WBGT が他地域と比較して高い傾向が見られたことから、2021年度においてはデータロガーを追加し重点的に観測を行っている。そこで、島原半島内3市について、いわゆる平成の大合併前の旧市町エリアに分け、2020年、2021年の2年間分の熱中症による人口10万人あたりの救急搬送者の違いを比較した結果を図17に示す。

特に島原半島の南側において救急搬送者数が多い傾向が見られたが、図7の下図の結果によると、島原半島の北側と南側の沿岸地域において WBGT の日最高値が高い日が多く、その影響により島原半島内でも熱中症リスクの違いが表れた可能性がある。

8 長崎県内の暑熱順化の状況

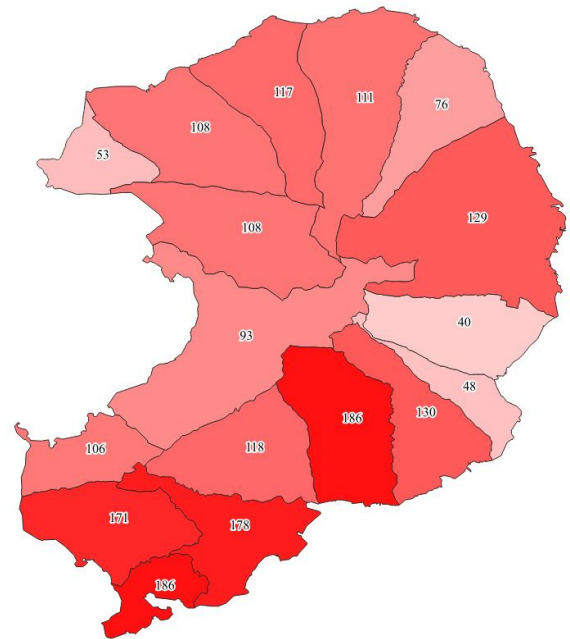


図 17 島原半島地域における合併前旧市町エリアごとの熱中症による救急搬送者数 (2020年、2021年2年分合計、人口10万人あたり)

県内の暑熱順化の影響を確認するため、2021年の週ごとの WBGT の日最高値の平均(県内全測定局の平均)と熱中症による救急搬送者数の推移を表4に示す。

2021年で WBGT の日最高値が最も高かった8月1日から8月7日の週末までは、WBGT の日最高値が高くなるにつれて救急搬送者数も増加しているが、その前

後の WBGT の日最高値が同程度(7/11~7/17, 8/22~8/28, 8/29~9/4)の週を比較したところ(表 4 の着色部分)、7月 11 日から 7月 17 日の週に比べ、8月 22 日から 8月 28 日の週および 8月 29 日から 9月 4 日の週の救急搬送者数が少なくなっていた。これは最も暑い時期を経たことで、暑熱順化が進んだことによるものと推測される。

表 4 WBGT の日最高値の週間平均(県平均)と熱中症による救急搬送者数の推移

日時 (日曜~土曜)	WBGT日最高値	
	の週間平均 (県内全測定 局の平均)	熱中症による 救急搬送者数
5/2~5/8	19.0	3
5/9~5/15	22.2	9
5/16~5/22	22.1	2
5/23~5/29	21.9	8
5/30~6/5	23.6	7
6/6~6/12	26.1	28
6/13~6/19	25.4	9
6/20~6/26	26.2	27
6/27~7/3	27.8	42
7/4~7/10	28.1	26
7/11~7/17	29.2	59
7/18~7/24	29.8	72
7/25~7/31	30.3	93
8/1~8/7	31.2	122
8/8~8/14	26.9	33
8/15~8/21	26.7	17
8/22~8/28	29.3	39
8/29~9/4	29.0	31
9/5~9/11	27.1	16
9/12~9/18	26.3	13
9/19~9/25	26.9	14
9/26~10/2	27.1	9

まとめ

2021 年における県内各地点での WBGT の推計と熱中症による救急搬送者の状況調査を行った。得られた WBGT と県内の熱中症による救急搬送者数との関連性を確認したところ、WBGT が高くなればなるほど、救急搬送者数は多くなることが分かった。2020 年と比較して WBGT が高い日の熱中症発生率が減っており、2021 年から開始された熱中症警戒アラートにより、防護行動を取るよう心掛けた人が増えた可能性が考

えられた。

2020 年、2021 年の 2 年間分の熱中症による救急搬送者データを用い、地域別(消防局・消防本部管轄別)に比較したところ、WBGT が高い地域において、人口当たりの救急搬送者が必ずしも多いわけではなかった。この要因としては、熱中症による救急搬送者は半数以上が高齢者で占められているため、地域ごとの高齢化率の違いや、地域ごとの暑熱環境が違いため暑熱順化の状況が違う等の要素が影響している可能性が考えられた。

2022 年度もより詳細な分析を行うためにデータ収集を継続する予定である。

参考文献

- 1) 気象庁: 気候変動監視レポート 2021, <https://www.data.jma.go.jp/cpdinfo/monitor/> (2022.7.11 アクセス)
- 2) 福岡管区気象台: 九州・山口県の気候変動監視レポート 2021, <https://www.jma-net.go.jp/fukuoka/kaiyo/chikyu/report/report.html>(2022.7.11 アクセス)
- 3) 小野雅司, 登内道彦: 通常観測気象要素を用いた WBGT(湿球黒球温度)の推定, 日本生気象学会雑誌, 50(4), 147-157(2014).
- 4) 紙井泰典, 藤本武志, 近森邦英: 日射量の気候学的推定について, 高知大学学術研究報告 自然科学編, 50, 81-94(2001).
- 5) 環境省: 平成 16 年度ヒートアイランド現象による環境影響に関する調査検討業務報告書, <https://www.env.go.jp/press/6226.html> (2022.7.7 アクセス)
- 6) 日本生気象学会: 「日常生活における熱中症予防指針」Ver.3.1, <https://seikishou.jp/post-217/> (2022.7.7 アクセス)
- 7) Antonio Gasparrini, Yuming Guo, Masahiro Hashizume, Eric Lavigne, Aurelio Tobias, Antonella Zanobetti, Joel D. Schwartz, Michela Leone, Paola Michelozzi, Haidong Kan, Shilu Tong, Yasushi Honda, Ho Kim, and Ben G. Armstrong. : Changes in susceptibility to heat during the summer: A multicountry analysis, American Journal of Epidemiology, 183(11), 1027-1036(2016).

Correlation between occurrence of heatstroke and meteorological data in Nagasaki Prefecture (2021)

Yasuhiro KOGA, Shoichi FUKUDA

Due to mortalities in Nagasaki Prefecture, the health implications of heat stroke need to be urgently addressed while considering the effects of climate change. To elucidate the regional characteristics of heatstroke, meteorological observations will be performed using data loggers capable of measuring temperature and humidity in each region more precisely than the Japan Meteorological Agency observation points in a three-year plan from 2020 to 2022. Wet-bulb globe temperature (hereinafter called WBGT), an indicator of the risk of heatstroke occurrence, was determined using observed meteorological data over the two years 2020 and 2021, and it was discovered that areas with higher WBGT did not necessarily have more emergency medical evacuees caused by heat stroke. The findings propose that this is because the elderly are at higher risk of developing heatstroke, leading to more emergency medical evacuees owing to heatstroke in areas with a large proportion of elderly people, and that heat acclimatization is relatively easier in areas with high WBGT, which may lower the incidence of heatstroke compared to areas with low WBGT. From 2021, the government has started issuing heatstroke alerts on days when the WBGT is forecasted to reach 31°C or higher. Thus, Nagasaki Prefecture must consider efficient approaches to spread awareness to lower the incidence of heatstroke.

Key words: heatstroke, WBGT, meteorological data

再生砂による浅場づくり実証試験事業 2021 年度事後調査結果

橋本 京太郎, 古賀 彩子, 粕谷 智之

再生砂による浅場づくり実証試験事業の事後調査として、大村市及び時津町の覆砂区の現況を把握するため、2021 年度にアサリの生息密度と殻長組成、底質、水質、生物多様性について調査を行い、過年度の調査結果と比較して覆砂効果を検討した。大村における 2022 年 1 月のアサリ生息密度は、337 個体/m²と前年度よりも少なく、新規加入個体群が少なかったことが一因と推察された。殻長 20 mm 以上となるまで生残する個体は依然として少ない状況であり、エイ類等の食害による影響と推察された。また、再生砂の移動により、一部エリアの礫化や底質の固化が深刻化しており、アサリをはじめとする埋在性二枚貝の生息場の確保のためには、礫化したエリアに再生砂を戻す取り組みが必要である。時津では、アサリ生息密度は少なく、航跡波による底質のかく乱や稚貝の散逸がアサリ減耗の一因となっている可能性があり、アサリ生息密度を増大させるためには、航跡波が到達した際の流速を抑える対策が不可欠と考えられる。大村および時津における底生生物調査で出現した生物群の多様性を RI 指数で検討したところ、両地点の覆砂区は多様な生物の生息場として機能していることが示された。

キーワード: 干潟、アサリ、二枚貝、大村湾、親水性

はじめに

長崎県は、2014 年度から「再生砂による浅場づくり実証試験事業」に取り組んでおり、2016 年度には大村市森園地先(以降、大村)に廃ガラスを原材料とする再生砂を覆砂して、広さ 1 ha の浅場を造成した(図 1)。さらに、2018 年度には、時津町崎野自然公園地先(以降、時津)に、大村と同様に広さ、0.1 ha の浅場を造成した(図 1)。

県環境保健研究センターは、本事業における覆砂効果の検証を担当しており、覆砂した区画(覆砂区)と覆砂していない区画(対照区)において、覆砂前(事前調査)および覆砂後(事後調査)のアサリ等の

底生生物の生息密度などをモニタリングしている。

本報告では、2021 年度事後調査結果を基に、覆砂区の現況と課題を検討した。

調査エリア概況

覆砂区について、大村は、造成から 5 年以上が経過し、一部のエリアでは再生砂の移動により、竣工時に埋没していた大礫や巨礫が露出した状態にある(図 2a)。また、固化した底質が板状となって覆砂区全域に散在している(図 2b)。時津は、底質の固化は見られないものの、大村と同様に一部で大礫や巨礫が露出した状態である(図 2a)。

対照区は、大村および時津ともに、覆砂区近傍のエリアを選定しており(図 1)、いずれも大礫や巨礫の合間を砂泥が埋める底質環境である(図 2c)。

材料と方法

大村および時津における調査日程を表 1 および表 2 に、調査測点を図 1 に示す。調査は干潮時に行い、各測点へは陸上から徒歩で赴いた。底生生物の採集は原則として枠取り調査で行い、30 × 30 cm 枠内の海底の土砂を深さ 10 cm 程度採取した後、目合 1 mm の篩にかけ、残ったものの中から目視で底生生物を取り出した。枠取り調査は 1 測点当たり 3 回行い、合わせて 1 サンプルとした。時津における覆砂区の測点の 1 つである時津(深場)は水深

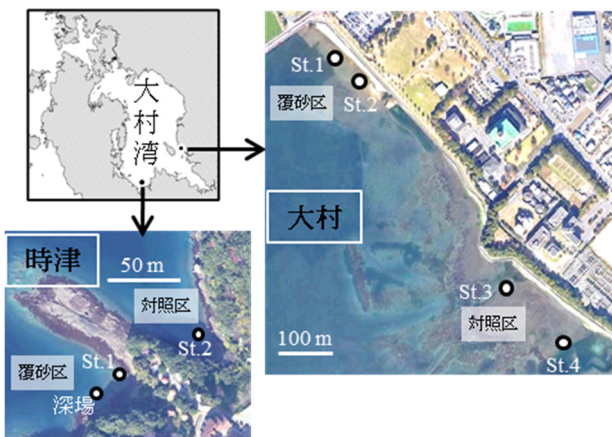


図 1 大村および時津における調査地点位置図
図中の印および文字は測点を表す。
航空写真は Google Earth を改変して作製¹⁾。



図 2a 大村 (左) および時津 (右) における覆砂区の状況の推移
航空写真は Google Earth を改変して作製¹⁾。



図 2b 大村における覆砂区の状況
大村の覆砂区で見られる板状の固化体 (左)。固化体中には再生砂の原料であるガラス片が含まれる (右)。



図 2c 大村 (左) および時津 (右) の対照区の状況

が 1 m 以上あり、枠取りが困難であることから、採集にはエクマンバージ採泥器 (開口部: 15 × 15 cm) を用いた。採泥器を複数回投入して海底の土砂を得た後、目合 1 mm の篩にかけ、残ったものの中から底生生物を取り出した。得られた底生生物は可能な限り種まで同定し、個体数を計数するとともに、アサリについては最大 100 個体までを無作為に選んで殻長を計測した。

底質分析用試料は口径 35 mm、長さ 50 cm のアクリルパイプを用いて採取した。パイプを海底に深さ 10 cm 程度まで差し込み、金属製のヘラを使ってパイプ下部を塞いだ後、パイプ内部の底質が落ちないようにゆっくりと引き抜いた。パイプ内の海水を静かに排水した後、底質をボトルに移した。採取は 1 測

点当たり 3 回以上行い、合わせて 1 サンプルとした。時津 (深場) では、アクリルパイプによる採泥が困難なことから、底質の採取には上述のエクマンバージ採泥器を用いた。

表 1 大村における調査日程

	底生生物				底質				
	覆砂区		対照区		覆砂区		対照区		
	St.1	St.2	St.3	St.4	St.1	St.2	St.3	St.4	
事前調査	2014年10月24日	○	○	○	○	○	○	○	○
	2015年1月26日	○	○	○	○	-	-	-	-
	2015年8月13日	○	○	○	○	○	○	○	○
	2016年9月26日	○	○	○	○	○	○	○	○
	2017年1月17日	○	○	○	○	○	○	○	○
	2017年8月18日	○	○	○	○	○	○	○	○
	2018年1月10日	○	○	○	○	-	-	-	-
	2018年8月21日	○	○	○	○	○	○	○	○
	2019年1月9日	○	○	○	○	○	○	○	○
	2019年8月27日	○	○	○	○	○	○	○	○
事後調査	2020年1月16日	○	○	○	○	○	○	○	○
	2020年8月24日	○	○	○	○	○	○	○	○
	2021年1月18日	○	○	○	○	○	○	○	○
	2021年8月16日	○	○	○	○	○	○	○	○
	2022年1月6日	○	○	○	○	○	○	○	○

表 2 時津における調査日程

	底生生物			底質		
	覆砂区		対照区	覆砂区		対照区
	St.1	深場	St.2	St.1	深場	St.2
事前調査	2017年6月6日	○	○	○	○	○
	2017年8月21日	○	○	○	○	○
	2018年8月22日	○	○	○	○	○
	2019年1月11日	○	○	○	○	○
	2019年8月26日	○	○	○	○	○
	2020年1月15日	○	○	○	○	○
	2020年8月26日	○	○	○	○	○
事後調査	2021年1月20日	○	○	○	○	○
	2021年8月20日	○	○	○	○	○
	2022年1月7日	○	○	○	○	○

底生生物の生息密度に関わる項目として、粒度組成、中央粒径、泥分率、強熱減量、底層 COD および硫化物を、それぞれ JIS A1204 (ふるい分析)²⁾、底質調査方法³⁾に従い分析した。

時津では、海底直上 10 cm の位置に JFE アドバンテック社製のワイパー式メモリー水温塩分計 (INFINITY-CTW) およびワイパー式メモリー DO 計 (RINKO W) を覆砂区と対照区それぞれに設置し、水温と塩分および溶存酸素量を連続観測した。

生物多様性の検討には中村の RI 指数を用いた⁴⁾。出現した底生生物の個体数を 6 段階に分けて、種ごとにランク値を当てはめ、次式によって RI 指数を求めた。

$$RI = Ri / \{S \times (M - 1)\}$$

ここで、S は種数、Ri は i 番目の種の個体数ランク、M は個体数ランクの段階数 (すなわち、6 段階: 0, 1, 2, ..., 5) を表す。

結果

アサリ生息密度と殻長組成 (大村)

大村におけるアサリ生息密度の推移を図 3 に示す。覆砂区では、2021 年 1 月のアサリ生息密度が 2315 個体/m²であったものの、2021 年 8 月には 59 個体/m²まで低下した。しかし、2022 年 1 月には 337 個体/m²に回復した。一方、対照区におけるアサリ生息密度は、2021 年 8 月で 30 個体/m²、2021 年 8 月では 11 個体/m²であり、覆砂区と比較して低い傾向となった。

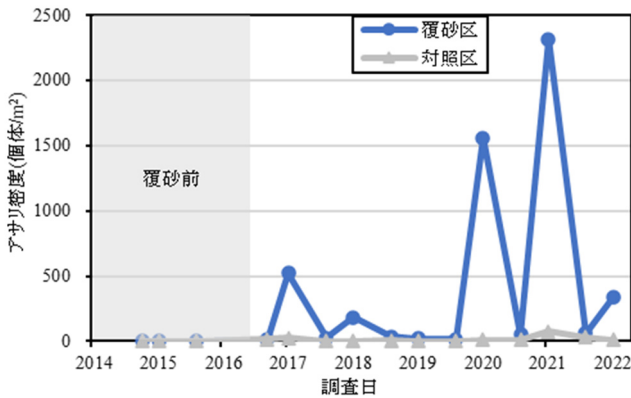


図 3 大村におけるアサリ生息密度の推移
生息密度は覆砂区および対照区ともに、それぞれ 2 測点の平均値を表す。

覆砂区に出現したアサリの殻長組成の推移を図 4a に、対照区に出現した殻長組成の推移を図 4b に示す。覆砂区では、2021 年 8 月は殻長 20 mm 以上の個体は出現しなかったものの、2022 年 1 月は殻長 5 mm 未満の個体が多く出現し、殻長 20 mm 以上の個体もわずかに出現した (図 4a)。対照区では、2021 年 8 月調査で殻長 20 mm 以上のアサリの出現はなく、2022 年 1 月調査では殻長 5 mm 以下の個体は覆砂区と比較して少ない傾向にあり、2021 年 1 月に見られた殻長 10 mm 未満の稚貝個体数の大きなピークも見られなかった (図 4b)。

(時津)

時津におけるアサリ生息密度の推移を図 5 に示す。覆砂区の時津 (St.1) および時津 (深場) におけるアサリ生息密度は覆砂後も大きな変化は見られず、

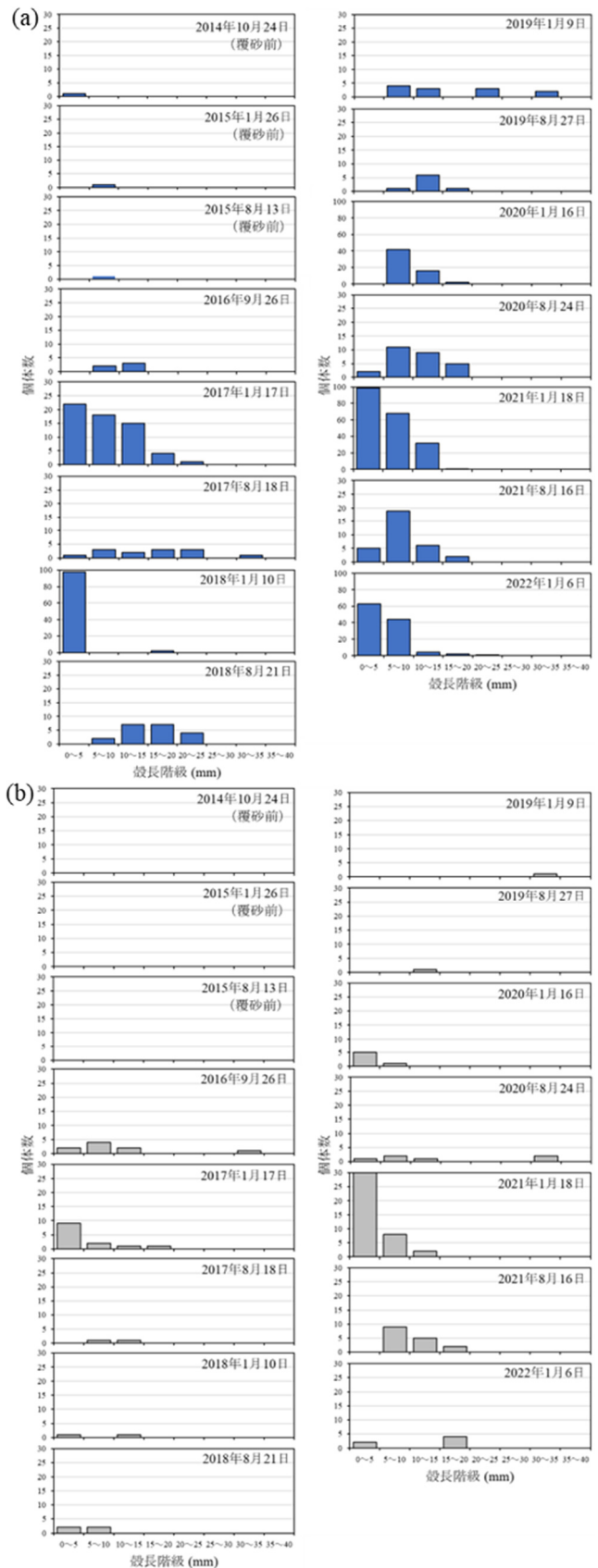


図 4 大村の覆砂区 (a) および対照区 (b) におけるアサリの殻長組成
覆砂区 2 測点 (St.1, St.2) および対照区 2 測点 (St.3, St.4) の殻長データの殻長データを合わせて作成した。

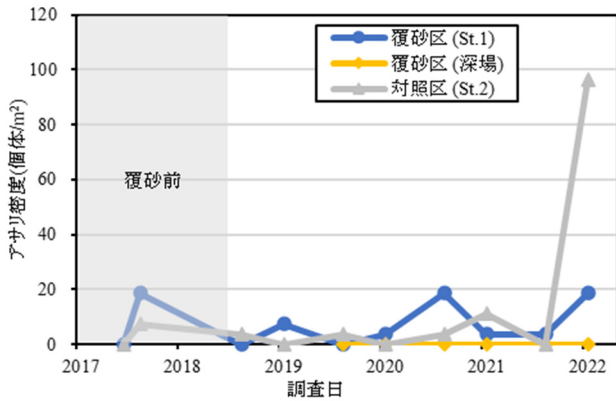


図 5 時津におけるアサリの生息密度の推移

2021年8月でそれぞれ4個体/m²および0個体/m²、2022年1月ではそれぞれ19個体/m²および0個体/m²であり、大村と比較すると極めて少ない生息密度であった。対照区におけるアサリ生息密度は、2021年8月は0個体/m²、2022年1月では96個体/m²であり、覆砂区と比較して高くなった。

時津の覆砂区におけるアサリの殻長組成の推移を図6aに、対照区に出現したアサリの殻長組成の推移を図6bに示す。時津の覆砂区では、覆砂の前後を通じて、大村で見られるような殻長10mm前後の稚貝個体数の大きなピークは無く、また、殻長15mm以上の個体も出現しなかった(図6a)。対照区の殻長組成についても同様であった(図6b)。

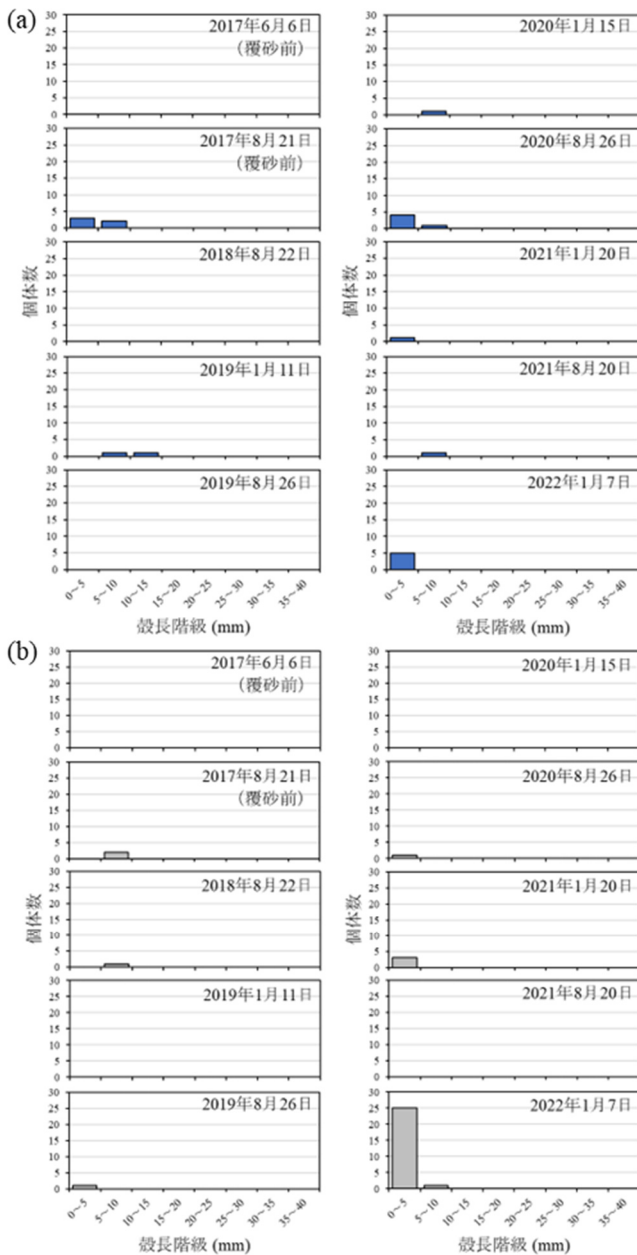


図 6 時津の覆砂区 (a) および対照区 (b) におけるアサリの殻長組成
覆砂区は2測点 (St.1 および 深場) の殻長データを合わせて作成した。

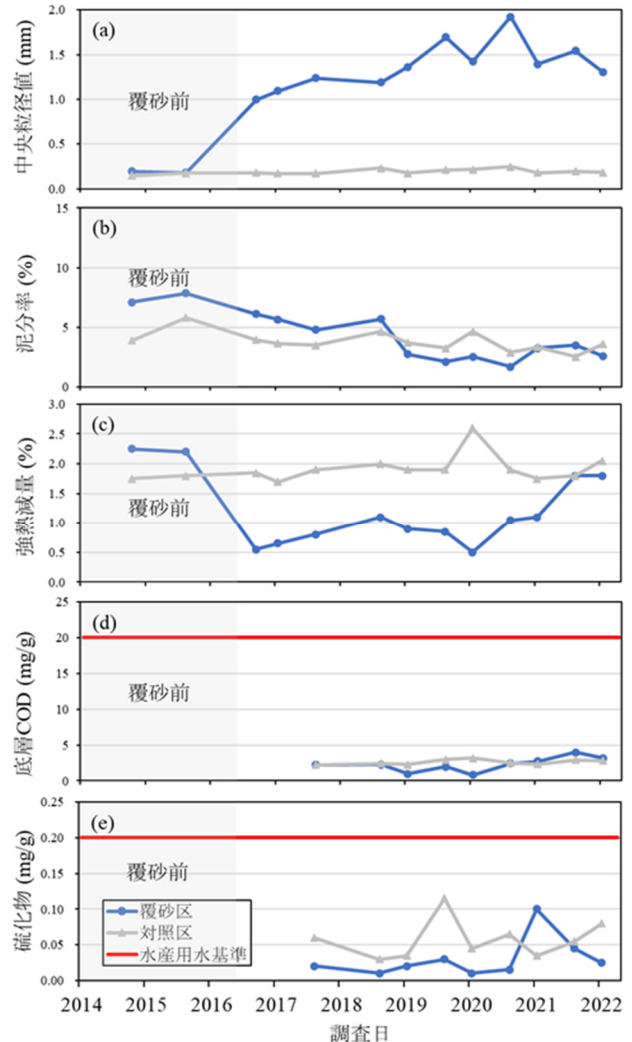


図 7 大村における底質環境の推移
(a)中央粒径値 (b)泥分率 (c)強熱減量 (d)底層 COD (e)硫化物
各項目は覆砂区 (St.1 および St.2)、対照区 (St.3 および St.4) の2測点の平均値を示す。

底質

(大村)

大村における底質環境および粒度組成の推移を図7および図8に示す。覆砂後、覆砂区の中央粒径値は0.8~1.9 mmの範囲内を推移し、St.2では2019年以降、中礫以上の成分の割合が増加傾向にある(図7a)。一方、対照区の中央粒径値は2020年8月にSt.3で最大0.27 mmであったが、調査期間を通じて大きな変化は見られなかった(図7a)。粒度組成を比較すると、覆砂区(St.1 および St.2)では覆砂後の2016年9月以降、粗礫~細礫分が増加し、St.2では2021年8月以降中礫分の割合が高くなっている(図8)。

泥分率は、2018年8月までは覆砂区では4.8~7.8%(平均6.2%)であったのに対し、対照区では3.5~5.8%(平均4.2%)であり、覆砂区で高い傾向が見られた(図7b)。しかし、2019年1月以降は覆砂区で1.7~3.5%(平均2.6%)と対照区の2.6~4.7%(平均3.4%)となり、2021年8月では、覆砂区の方が高くなった(図7b)。

強熱減量は、覆砂以前は覆砂区で2.2%、対照区で1.8%であり、覆砂区で高かったが、覆砂以降

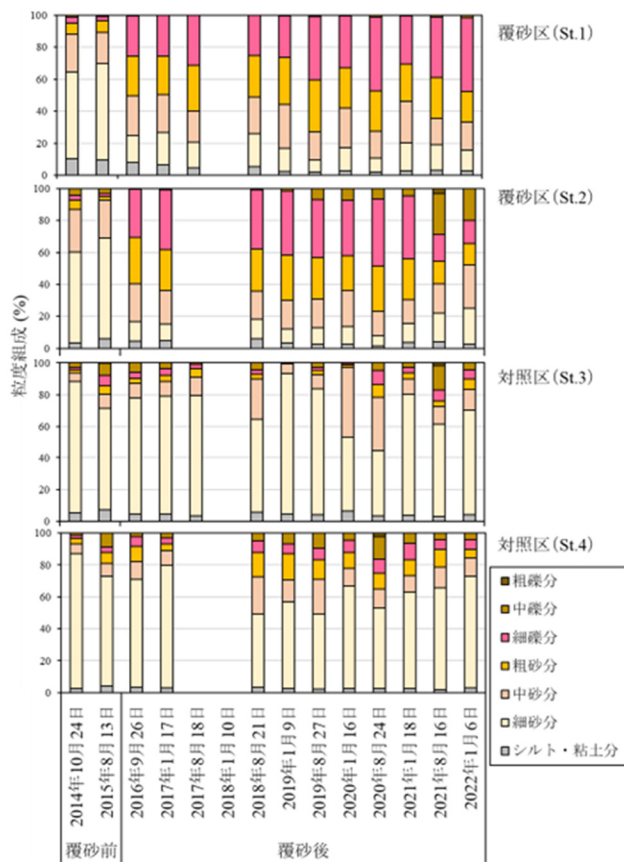


図8 大村の覆砂区および対照区における底質の粒度組成

2020年1月までは覆砂区で0.5%~1.1%の範囲(平均0.83%)、対照区では1.7%~2.6%の範囲(平均1.9%)で推移し、2021年以降は覆砂区で増加傾向にある(図7c)。

底層CODは全区間において4.0 mg/g以下(図7d)、硫化物は0.12 mg/g以下となり(図7e)、底層CODおよび硫化物は、覆砂区、対照区の双方で水産用水基準を満たす結果であった⁵⁾。アサリの成育に適した底質環境は、中央粒径値で0.5~4 mm、泥分率では2~30%、強熱減量で3.0%未満である^{6, 7)}。覆砂区の底質はいずれもこれらの範囲内にあり、2022年1月時点でも覆砂効果の持続が確認された。

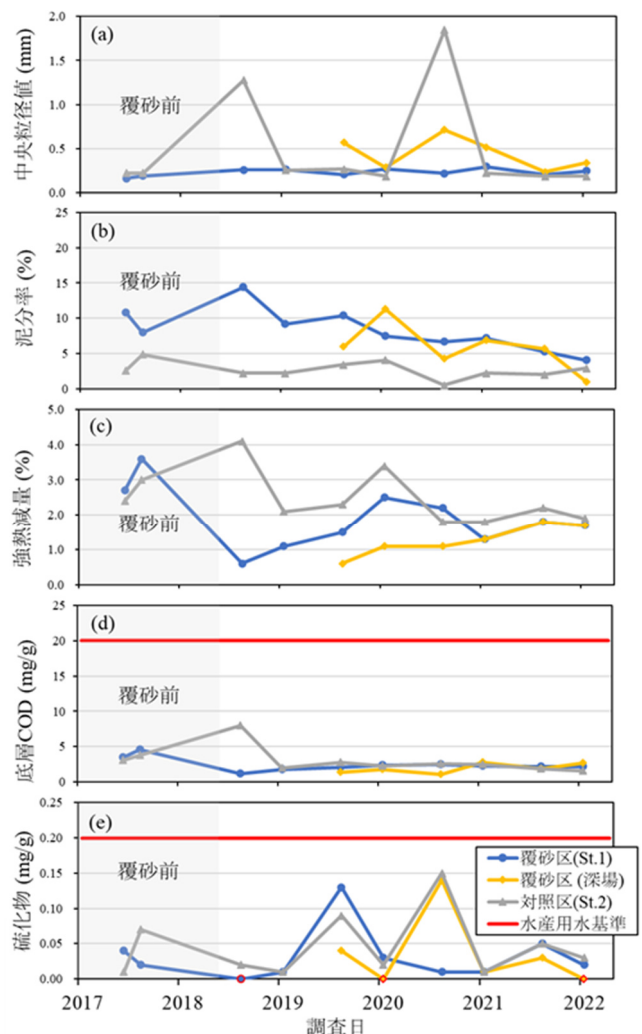


図9 時津における底質環境の推移 (a)中央粒径値 (b)泥分率 (c)強熱減量 (d)底層COD (e)硫化物
赤枠のマーカは検出下限値(硫化物: 0.01mg/g)以下を示す。

(時津)

時津における底質環境および粒度組成の推移を図9および図10に示す。中央粒径値は覆砂区の時

津 (St.1) では覆砂前は 0.17 ~ 0.19 mm (平均 0.18 mm) であったのに対して、覆砂後は 0.21 ~ 0.30 mm の範囲 (平均 0.25 mm) であり、覆砂によってわずかに上昇した (図 9a)。また時津 (深場) においては、中央粒径値は 0.24 ~ 0.71 mm の範囲 (平均 0.44 mm) で推移し、時津 (St.1) よりも高い傾向が見られた。対照区の時津 (St.2) における中央粒径値は、0.19 ~ 1.85 mm の範囲 (平均 0.55 mm) であり、2018 年 8 月および 2020 年 8 月にそれぞれ 1.28 mm および 1.85 mm と高い値となったものの、それ以外の調査においては 0.18 ~ 0.26 mm の範囲で、覆砂区と比較して大きな差は見られなかった (図 9a)。粒度組成を比較すると、覆砂区 (St.1) では覆砂後の 2018 年 8 月以降、細礫 ~ 粗砂分が増加し、対照区 (St.2) においては 2018 年 8 月および 2020 年 8 月に中礫 ~ 粗砂分の割合が高くなった (図 10)。

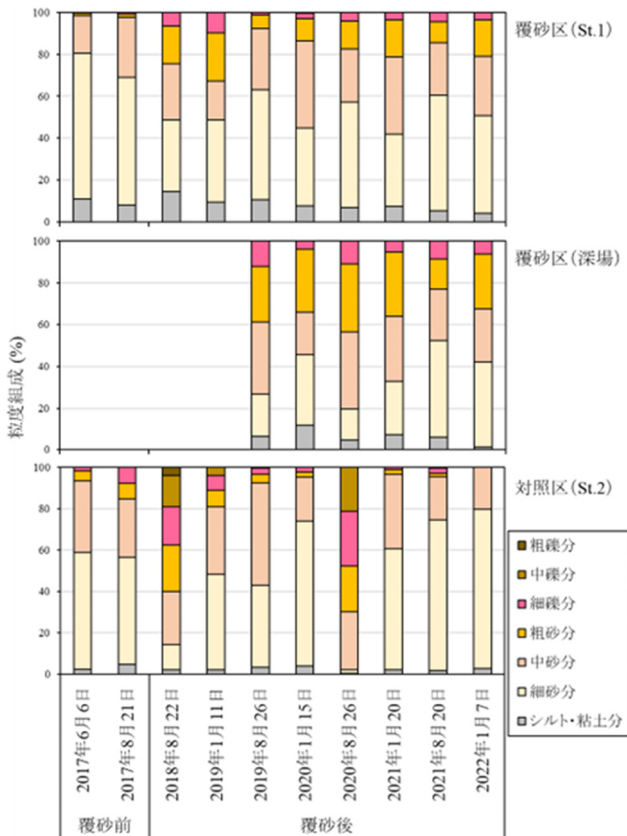


図 10 時津の覆砂区 (St.1 および深場)、対照区 (St.2) における底質の粒度組成

泥分率は時津 (St.1) では覆砂前は 8.0 ~ 10.8 % (平均 9.4 %) であったのに対して、覆砂後は 4.1 ~ 14.4 % の範囲 (平均 8.1 %) であり、近年減少傾向にある。時津 (深場) の泥分率は 1.0 ~ 11.3 % の範囲 (平均 5.9 %) であり、時津 (St.1) と同程度に近年減少傾向にある。対照区の泥分率は、2020 年 8 月に

一時減少し 0.5 % となったが、それ以降は 2.0 ~ 2.9 % で推移している (図 9b)。

強熱減量については、時津 (St.1) では覆砂前は 2.7 ~ 3.6 % (平均 3.2 %) であったのに対して、覆砂後は 0.6 ~ 2.5 % の範囲 (平均 1.6 %) に低下した (図 9c)。時津 (深場) では、0.6 ~ 1.8 % の範囲 (平均 1.3 %) であり、時津 (St.1) よりも低い傾向が見られた。対照区の時津 (St.2) では強熱減量は 1.8 ~ 4.1 % の範囲 (平均 2.5 %) で推移し、覆砂以降は覆砂区よりも概ね高い値を示した (図 9c)。

覆砂区の底層 COD は全区間において 2.8 mg/g 以下 (図 9d)、硫化物は 0.14 mg/g 以下となり (図 9e)、底層 COD および硫化物は、覆砂区、対照区の双方で水産用水基準を満たす結果であった⁵⁾。前述のアサリの成育に適した底質環境^{6,7)}と比較すると、時津における覆砂区の底質は、強熱減量では範囲内にあるものの、中央粒径値については覆砂以降も好ましくない状況、泥分率も時津 (深場) では下限値を下回った。

水質 (時津)

時津における水温、塩分、および溶存酸素飽和度の推移を図 11a, b に示す。水温は、夏期は 26 ~ 31、冬期は 8 ~ 12 の範囲を推移した。また、塩分は、夏期はおよそ 22 ~ 31、冬期は 30 ~ 33、溶存酸素飽和度については、夏期は 29 ~ 184 %、冬期は 82 ~ 121 % の範囲であった。溶存酸素飽和度については、冬期に覆砂区で対照区よりも低い傾向があったものの、水温と塩分については覆砂区と対照区との間に大きな差は見られなかった。

アサリの生息に適した水質環境は、水温 10 ~ 30、塩分 20 ~ 35 の範囲であり⁸⁾、溶存酸素飽和度が 10 % 以下 (水温 15) の環境下では 13 日程度でへい死が起こるとされている⁸⁾。時津では、調査期間内において、水温が 30 以上となった日が 2 日間、水温 10 を下回ることにはあったものの、連続的に 10 以下となったのは 2021 年 2 月 5 ~ 9 日の期間であった。その他の項目については、夏期および冬期ともに、適正範囲内であった。

生物多様性

(大村)

本調査では生物多様性の指標として、個体数の均一性の影響を受けにくく、一般的な印象に近い結果が得られる中村の RI 指数を用いた (底生生物出

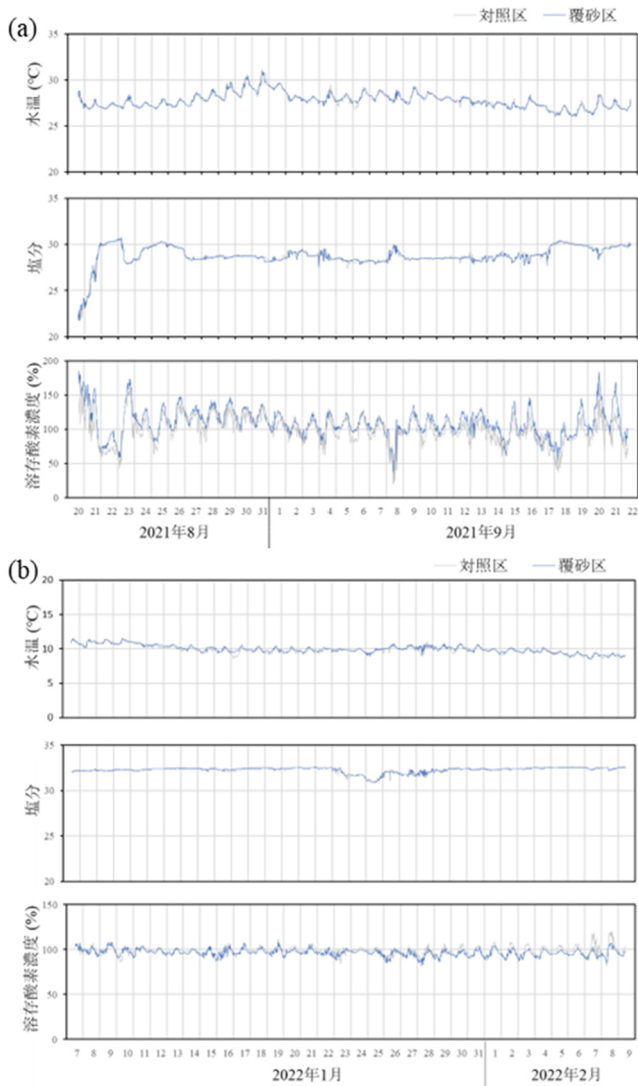


図 11 時津の覆砂区 (St.1) および対照区 (St.2) における夏季(a)、冬季(b)の水質変動

現種と RI 指数計算結果については参考資料 1 および 2 を参照⁴⁾。算出した大村における RI 指数の推移を図 12 に示す。覆砂区の RI 指数は、覆砂以前は 0.024 および 0.016 (平均 0.02) であったのに対して、覆砂以降は 0.027 ~ 0.084 (平均 0.049) に上昇した。対照区の RI 指数は、覆砂以前は 0.021 および 0.015 であったのに対して、覆砂以降は 0.015 ~ 0.47 (平均 0.032) の範囲で推移した。RI 指数は、覆砂区で高い傾向が見られるものの、覆砂区と対照区で同様の変動傾向を示し、覆砂以降の調査では 2020 年 8 月で最も低い値となった。

(時津)

時津における全出現種を対象とした RI 指数を図 13 に示す。覆砂区では、2019 年 8 月および 2020 年 1 月の RI 指数は、時津 (St.1) でそれぞれ 0.061 およ

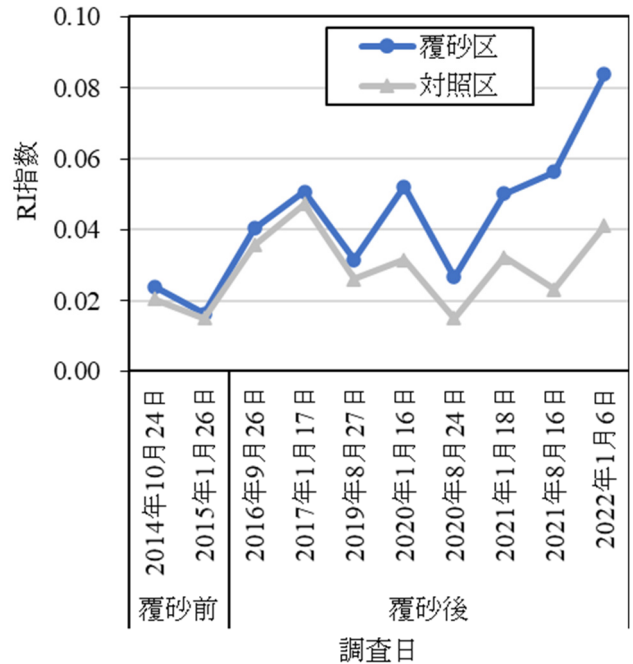


図 12 大村における生物多様性指標 (中村の RI 指数) の推移

RI 指数は覆砂区 (St.1 および St.2)、対照区 (St.3 および St.4) の 2 測点のデータを合わせて算出した。

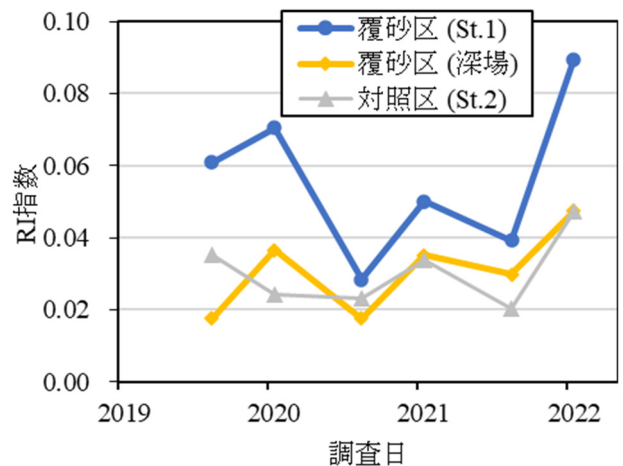


図 13 時津における生物多様性指標 (中村の RI 指数) の推移

び 0.070、時津 (深場) では 0.018 および 0.037 であったが、2021 年 8 月および 2022 年 1 月では、時津 (St.1) でそれぞれ 0.039 および 0.089、時津 (深場) では 0.030 および 0.047 であった。一方、対照区の時津 (St.2) における RI 指数は、2019 年 8 月および 2020 年 1 月はそれぞれ 0.035 および 0.024 であったのに対して、2021 年 8 月および 2022 年 1 月ではそれぞれ 0.020 および 0.047 であった。時津 (深場) および対照区 (St.2) は同程度で推移し、覆砂区 (St.1) は、それら 2 区間より覆砂区で高い値で推移した。

考 察

(大村)

これまでの調査結果から、大村の覆砂区におけるアサリ生息密度は、春から秋に発生した幼生が殻長 5 mm 程度の稚貝となり、1 月の調査で採集されることによって、1 月に高く、8 月に低くなる傾向があり⁹⁾、2021 年度も同様の傾向であった。2021 年 1 月のアサリ生息密度は、2300 個体/m² と調査期間中で最大であったが、2022 年 1 月は 337 個体/m² であった。また、2021 年 1 月では、覆砂区だけでなく対照区においても 74 個体/m² と比較的多くのアサリが出現したが、2022 年 1 月では 11 個体/m² であったことから、2021 年度は大村近傍に供給されるアサリの新規加入個体が少なかった可能性がある。

覆砂区では、2021 年 8 月に殻長 10 mm 以上の個体が確認されたものの、2022 年 1 月に出現したアサリの多くは殻長 10 mm 以下の個体であり、2021 年 1 月に高密度に出現した稚貝の多くは成貝となるまで生残できなかったことから、2022 年 1 月に出現した個体群についても同様の推移となる可能性がある。調査結果から、覆砂区の底質環境は、アサリの生育環境に適した範囲内にあり、覆砂効果の持続が確認されている。一方、大村の覆砂区では波浪などによって砂が移動し、一部のエリアでは埋没していた礫が底面に露出しており(図 2a)、覆砂区のうち St.2 では、2021 年 8 月以降中礫分の割合が高くなってきている。アサリは砂の厚さが減少すると潜砂深度が浅くなり、イシガニなどの外敵に捕食されやすくなることが報告されており¹⁰⁾、埋在性二枚貝の生息可能面積の減少が懸念される。なお、同海岸では、エイ類による被食防止対策として浅場底面を被覆網で覆う手法の効果を検証しており¹¹⁾、被覆網の下ではアサリは殻長 30 mm 以上に成長していることが確認できたことから、エイ類等の生物による食害は無視できないレベルにあると思われる。また、被覆網は食害対策のみならず、荒天時のアサリ稚貝の逸散を軽減する効果があるとされていることから¹²⁾、アサリ生残率向上の手段として同手法をより広範囲で実施することが有効と考えられる。

2021 年 8 月および 2022 年 1 月の調査では、覆砂区における出現種数は 51(1122 個体)および 77(2176 個体)、対照区の出現種数は 24(496 個体)および 44(926 個体)と、覆砂区における生物量が多くなっている。出現種全体を対象とした RI 指数は、覆砂区、対照区ともに夏期に低く、冬期に高い傾向

を示し、2021 年年度も同様であった。これまでの調査から、出現種全体を対象とした RI 指数は、全湾的な環境変化の影響を検討するツールとして有効であることが示唆されており⁹⁾、造成された浅場は多様な生物の生息場として機能していることが示された。一方、前述のように、覆砂区では 2019 年以降、一部エリアで礫の露出が顕著となっている(図 2a)。「再生砂による浅場づくり」は二枚貝を増やして水質浄化に繋げることを目的の一つとしていることから、アサリ等の埋在性二枚貝の生息域確保のためには、礫化したエリアに砂を戻すなど、生息場を維持するための取り組みが必要と考えられる。

(時津)

2022 年 1 月の対照区(St.2)では、調査期間中で最大の 96 個体/m² のアサリが出現しており、その多くは殻長 5 mm 以下の個体であったことから、アサリ稚貝の供給はあったものと推察されるが、覆砂区(St.1)および時津(深場)におけるアサリ密度は 19 個体/m² および 0 個体/m² であり、覆砂区の生息密度が低い結果となった。また、これまでの調査において、水温などの測定データからはアサリが斃死するような大きな環境悪化は観測されなかったが、時津における覆砂区の中央粒径値は覆砂以降もアサリの生育に適さない状況、時津(深場)では泥分率がアサリの適正条件の下限値を下回っている。時津町の浅場の沖合は、時津港と長崎空港を結ぶ高速船の航路となっていることから、大村と異なり航走波が頻繁に打ち寄せる環境にある。浅場造成前の事前調査では、水深が 0.5 m の海底では砂は航走波によって浮遊移動すると予測されており¹³⁾、底質のかく乱によるアサリ稚貝のへい死や散逸の原因となっている可能性がある。このような特徴をもつアサリ漁場では、流速を抑えてアサリの逸散を防ぐために網張りや支柱式ノリ養殖施設を設置する試みが行われており^{14, 15)}、時津においても同様の取り組みが必要と考えられる。

2021 年 8 月および 2022 年 1 月の調査では、覆砂区における出現種数は 21(312 個体)および 45(2096 個体)、時津(深場)の出現種数は 17(195 個体)および 26(272 個体)、対照区の出現種数は 12(137 個体)および 32(151 個体)と覆砂区における生物量が多かったものの、2022 年 1 月の時津(深場)では対照区の方が出現種数が多くなった。時津における RI 指数は大村と同様に 8 月に低く、1 月で

高くなる傾向を示しており、2021 年年度も同様であった。調査期間中の RI 指数は、覆砂区で最も高くなっていることから、造成された浅場は多様な生物の生息場として機能していることが示唆された。

最後に、調査を進めるうえで有益な情報・助言をいただいた国立環境研究所と地方環境研究所との型共同研究「里海里湖流域圏が形成する生物生息環境と生態系サービスに関する検討」のメンバーに感謝の意を表す。

参 考 文 献

- 1) Google (2022) : Google Earth. <http://www.google.co.jp/intl/ja/earth/>. (2022 年 6 月 26 参照).
- 2) JIS A1204(2020) : 土の粒度試験方法.
- 3) 環境省水環境部水環境管理課(2012) : 底質調査方法
- 4) 中村寛志(2013) : 昆虫群集を使った環境評価手法について - RI 指数とグループ別 RI 指数法 - . 環動昆 24, 7-14.
- 5) 公益社団法人 日本水産資源保護協会 (2018) : 水産用水基準(2018 年版).
- 6) 新保裕美 他(2000) : アサリを対象とした生物生息地適性評価モデル. 海岸工学論文集 47, 1111-1115.
- 7) 清水康弘 他(2018) : アサリ母貝場干潟造成効果評価事業 三重県水産研究所 平成 29 年度事業報告.
- 8) 水産庁増殖推進部(2013) : 二枚貝漁場環境改善技術導入のためのガイドライン 平成 25 年 3 月.
- 9) 粕谷智之 他(2021) : 再生砂による浅場づくり実証試験事業 第 3 報 令和 2 年(2020 年)度事後調査結果. 長崎県環境保健研究センター所報 66, 33-49.
- 10) 高橋宏司 他(2016) : イシガニによるアサリ捕食のメカニズムとその対策. 日本水産学会誌 82, 706-711.
- 11) 古賀彩子 他(2021) : 大村市に造成した「ガラスの砂浜」における被覆網によるアサリの保護効果. 長崎県環境保健研究センター所報 66, 104-108.
- 12) アサリ資源全国協議会 他(2009) : 提言 国産アサリの復活に向けて(平成 21 年 3 月改訂).
- 13) 長崎県環境部(2018) : 再生砂による浅場づくり実証事業に係る調査及び工事設計業務委託報告書.
- 14) 樋渡武彦 他(2007) : 網張り試験による流速減衰と二枚貝浮遊幼生着底促進効果について. 環境工学研究論文集 44, 555-561.
- 15) 長谷川夏樹 他(2012) : 支柱式ノリ養殖施設によるアサリ稚貝の定着促進効果. 水産工学 49, 125-132.

Population Density Changes of *Ruditapes philippinarum* in Shallow Waters created using Recycled Glass Sand in Omura Bay (2021)

Kyotaro HASHIMOTO, Ayako KOGA, Tomoyuki KASUYA

We examined the abundance of *Ruditapes philippinarum* clams in an artificial tidal flat adjacent to Omura city and Togitsu town, constructed by sand capping using recycled glass sand in Omura Bay in 2014. At the Omura site, several young shellfishes of *R. philippinarum* (<10 mm shell length) were present in January 2021, the clam's density on the artificial tidal flat reached the number of 337 individuals/m², which was lower than recorded the previous year. Furthermore, only a few of them grew to over 20 mm of shell length, owing to heavy predation by stingrays. Covering the bottom surface using a small net on an experimental basis in the environmental learning on the artificial tidal flat of Morisono helped to prevent clams from predation. This might be necessary for larger area settings of artificial tidal flat. We also examined the macro- and megabenthic faunal biodiversity using the RI index, which is a biodiversity index described by Nakamura (2013). Thus, results of the RI index analysis indicated that the Omura site's tidal flats are efficient at preserving biodiversity.

At the Togitsu site, the *R. philippinarum* was very low, probably owing to the disturbance of bottom sediment due to ship waves. At an artificial tidal flat in Sakino, countermeasures such as spreading a net horizontally on the surface similar to laver aquaculture were require to reduce the disturbance caused by ship waves.

Key words: Bivalves, Tidal flat, Benthos, Water park

参考資料 1 大村の覆砂区に出現した底生生物出現種と RI 指数計算シート (その 2)。日付列の数値は個体数を表す。個体数は 2 測点の合計値である。

門	綱	種名	H26.10	H17.1	H28.9	H29.1	R1.8	R2.1	R2.8	R3.1	R3.8	R4.1	ランク値
藻類動物	二枚貝	<i>Murex auris</i>	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2	46
藻類動物	二枚貝	<i>Nidulifera minuta</i>	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2	83
藻類動物	二枚貝	<i>Macoma hutchingsi</i>	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1
藻類動物	二枚貝	<i>Quadrans parvius</i>	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1
藻類動物	二枚貝	<i>Saxidomus sp.</i>	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
藻類動物	二枚貝	<i>Montacutidae sp.</i>	0	0	0	0	0	1	1	0	0	0	0
藻類動物	二枚貝	<i>Anomalodiscus squamosus</i>	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
藻類動物	二枚貝	<i>Circe scripta</i>	0	0	0	0	113	4	1	0	0	0	4
藻類動物	二枚貝	<i>Gastropoda spp.</i>	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
藻類動物	二枚貝	<i>Meretrix lasaria</i>	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
藻類動物	二枚貝	<i>Meretrix sp.</i>	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
藻類動物	二枚貝	<i>Vermetidae nkrca</i>	2	1	0	0	16	2	8	1	3	1	13
藻類動物	二枚貝	<i>Phacosoma japonicum</i>	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	9
藻類動物	二枚貝	<i>Phar. spp.</i>	0	0	0	0	1	1	0	0	0	0	0
藻類動物	二枚貝	<i>Prothaca jademensis</i>	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
藻類動物	二枚貝	<i>Radix philippinorum</i>	1	1	1	5	1	312	5	8	1	842	5
藻類動物	二枚貝	<i>Iris macrophylla</i>	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1250
藻類動物	二枚貝	<i>Iris sp.</i>	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	32
藻類動物	二枚貝	<i>Veneridae sp.</i>	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1
藻類動物	二枚貝	<i>Macra chinensis</i>	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
藻類動物	二枚貝	<i>Solen stricatus</i>	0	0	0	0	8	1	1	26	2	1	6
藻類動物	二枚貝	<i>Gari stricatus</i>	0	0	0	0	10	2	0	0	8	1	1
藻類動物	二枚貝	<i>Macra nipponica</i>	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
藻類動物	二枚貝	<i>Pholidae sp.</i>	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
藻類動物	二枚貝	<i>Myidae spp.</i>	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
藻類動物	多毛	<i>Harmothoe sp.</i>	0	0	0	0	7	1	0	0	25	2	0
藻類動物	多毛	<i>Lepidonotus sp.</i>	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
藻類動物	多毛	<i>Phyllodoce sp.</i>	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
藻類動物	多毛	<i>Glycera sp.</i>	4	1	5	1	0	6	1	0	0	0	3
藻類動物	多毛	<i>Sigambra sp.</i>	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
藻類動物	多毛	<i>Syllinae sp.</i>	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0
藻類動物	多毛	<i>Hesionidae sp.</i>	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0
藻類動物	多毛	<i>Ceratonereis erythraensis</i>	18	2	14	2	91	3	24	2	36	2	11
藻類動物	多毛	<i>Necomanthes kalpoda</i>	10	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0
藻類動物	多毛	<i>Helicis sp.</i>	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1
藻類動物	多毛	<i>Peinereis califera</i>	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2
藻類動物	多毛	<i>Peinereis micodon</i>	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3
藻類動物	多毛	<i>Platyeris bicantallana</i>	0	0	4	1	0	0	0	0	0	0	0
藻類動物	多毛	<i>Platyeris damerlii</i>	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
藻類動物	多毛	<i>Nereididae sp.</i>	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
藻類動物	多毛	<i>Nephtys sp.</i>	3	1	34	2	0	0	0	0	21	2	0
藻類動物	多毛	<i>Marphysa sp.</i>	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
藻類動物	多毛	<i>Eunicis sp.</i>	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
藻類動物	多毛	<i>Diopatra sugakai</i>	2	1	2	1	0	0	0	0	0	0	0
藻類動物	多毛	<i>Lumbineridae sp.</i>	1	1	0	0	2	1	16	2	2	1	3
藻類動物	多毛	<i>Orbinidae sp.</i>	12	2	3	1	2	1	1	1	1	0	23
藻類動物	多毛	<i>Aonides oxycephala</i>	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
藻類動物	多毛	<i>Cirratulidae spp.</i>	1	1	0	0	2	1	5	1	0	8	1
藻類動物	多毛	<i>Hydrisidae japonica</i>	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2
藻類動物	多毛	<i>Flabelligeridae sp.</i>	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
藻類動物	多毛	<i>Capitellidae sp.</i>	8	1	259	5	24	2	103	4	1	3	0
藻類動物	多毛	<i>Owenia japonica</i>	5	1	33	2	1	17	2	0	0	1	6
藻類動物	多毛	<i>Terebellidae sp.</i>	3	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0
藻類動物	多毛	<i>Peculiaridae sp.</i>	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
藻類動物	多毛	<i>Sobellidae sp.</i>	10	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0
藻類動物	スリムムシ	<i>Sipunculidae sp.</i>	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
藻類動物	スリムムシ	<i>Golfingiidae sp.</i>	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
藻類動物	蠕脚	<i>Amphipoda variegatus</i>	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
藻類動物	蠕脚	<i>Boletus trigonus</i>	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

参考資料 1 大村の対照区に出現した底生生物出現種と RI 指数計算シート(その 3)。日付列の数値は個体数を表す。個体数は 2 測点の合計値である。

門	綱	種名	対照区													R4.1	ランク値	
			H2.6.10	H2.7.1	H2.8.9	H2.9.1	R1.1.8	R2.1	R2.8	R3.1	R3.8	R4.1	ランク値					
節足動物	蟹脚	<i>Myodospina</i> sp.	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
節足動物	軟甲	アミ科の仲間	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
節足動物	軟甲	ナギサクマ科の一種	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
節足動物	軟甲	<i>Byblis japonicus</i>	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
節足動物	軟甲	ニッポンスガメ	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
節足動物	軟甲	<i>Amphioe</i> sp.	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
節足動物	軟甲	<i>Grandidierella</i> sp.	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
節足動物	軟甲	<i>Lysianassidae</i> sp.	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
節足動物	軟甲	フトヒナソコエビ科の一種	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
節足動物	軟甲	<i>Coopitidae</i> sp.	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
節足動物	軟甲	<i>Pontogeneta</i> sp.	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
節足動物	軟甲	<i>Paradexamine</i> sp.	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
節足動物	軟甲	<i>Melita</i> sp.	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
節足動物	軟甲	サンノコエビ	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
節足動物	軟甲	<i>Synchelidium</i> sp.	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
節足動物	軟甲	<i>Synchelidium</i> sp.	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
節足動物	軟甲	<i>Perauridae</i> sp.	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
節足動物	軟甲	スナヅナソコエビ科の仲間	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
節足動物	軟甲	<i>Anthuridae</i> sp.	2	1	6	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
節足動物	軟甲	ウミズミソコエビ科の仲間	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
節足動物	軟甲	<i>Janitidae</i> sp.	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
節足動物	軟甲	<i>Sphaeroma sieboldi</i>	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
節足動物	軟甲	<i>Chitonosphaera lata</i>	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
節足動物	軟甲	<i>Cymodoce japonica</i>	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
節足動物	軟甲	<i>Sphaeroma retrolaetis</i>	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
節足動物	軟甲	クマ科の一種	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
節足動物	軟甲	<i>Sinuelobus</i> sp.	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
節足動物	軟甲	<i>Hippopsidae</i> sp.	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
節足動物	軟甲	<i>Peneidae</i> sp.	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
節足動物	軟甲	<i>Alpheus</i> sp.	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
節足動物	軟甲	<i>Athanas</i> sp.	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
節足動物	軟甲	<i>Palaemon macrodactylus</i>	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
節足動物	軟甲	<i>Upogebia</i> sp.	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
節足動物	軟甲	<i>Diogenes nitidimanus</i>	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
節足動物	軟甲	<i>Pagurus minutus</i>	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
節足動物	軟甲	<i>Paguridae</i> sp.	8	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
節足動物	軟甲	<i>Halicarcinus</i> sp.	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
節足動物	軟甲	<i>Philyra pisum</i>	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
節足動物	軟甲	<i>Philyra</i> sp.	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
節足動物	軟甲	<i>Hymenosomatidae</i> sp.	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
節足動物	軟甲	<i>Pontarmalus pubescens</i>	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
節足動物	軟甲	<i>Charybdis japonica</i>	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
節足動物	軟甲	<i>Pontanus pelagicus</i>	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
節足動物	軟甲	<i>Pontanus trituberculatus</i>	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
節足動物	軟甲	<i>Gaearte depressus</i>	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
脊椎動物	硬骨魚	<i>Acanthopagrus</i> sp.	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
脊椎動物	硬骨魚	<i>Gobiidae</i> sp.	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
棘皮動物	ナマコ綱	<i>Synaptae</i> sp.	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
棘皮動物	クレソン	<i>Ophtacidae</i> sp.	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
棘皮動物	クレソン	<i>Amphitruidae</i> sp.	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

個体数 431 166 855 1347 610 780 206 502 496 926
種数 22 16 34 45 24 31 15 34 24 44
RI 0.021 0.015 0.036 0.047 0.026 0.032 0.015 0.032 0.025 0.042

参考資料 2 時津に出現した底生生物出現種と RI 指数計算シート(その 2)。日付列の数値は個体数を表す。

Table with columns for species names (門, 綱, 目, 科, 属, 種) and 15 columns for dates (R1.1 to R1.15) under '調査区(S-1)' and '調査区(原場)', followed by '調査区(新場)' and '調査区(R4.1 to R4.15)'. Rows list various biological groups like 藻類, 原生動物, 細菌, 植物, etc., with their corresponding counts for each date.