

波浪観測値を音程変換して創造した 海洋音楽に含まれる $1/f$ ゆらぎ現象の検証

-自らのヴァイオリン二重奏で奏でる海洋音楽の癒し効果-

学校法人成田山教育財団 成田高等学校2年

(成田高等学校音楽部ヴァイオリンパート所属)

横内 敬文 (2F) 野中 太陽 (2G)

研究動機と目的

- 筆者達（横内・野中）は成田高校音楽部（管弦楽団）に所属する高校生ヴァイオリニストである。
- 2020年以降のコロナ禍における「音楽は不要不急の存在」との世論に反論する形で「自分たちの演奏が地域のためにできること」を追求してきた。総合探究では成田赤十字病院の御指導で「地域災害医療における音楽の貢献可能性」を研究。
- 災害医療サイクル（上図）において音楽が貢献できるのは・・・
 - ① **静穏期から前兆期**：災害の記憶と教訓を演奏により伝達する活動（防災音楽てんでんこ）。災害時の気象データを用いた楽曲の自動生成プログラム（下図）を設計・構築（2022）。
 - ② **復旧期から復興期**：長期化する避難生活において心の健康維持（=防ぎうる災害関連死の防止）が課題。人々の癒しへ貢献できるのが音楽という存在。

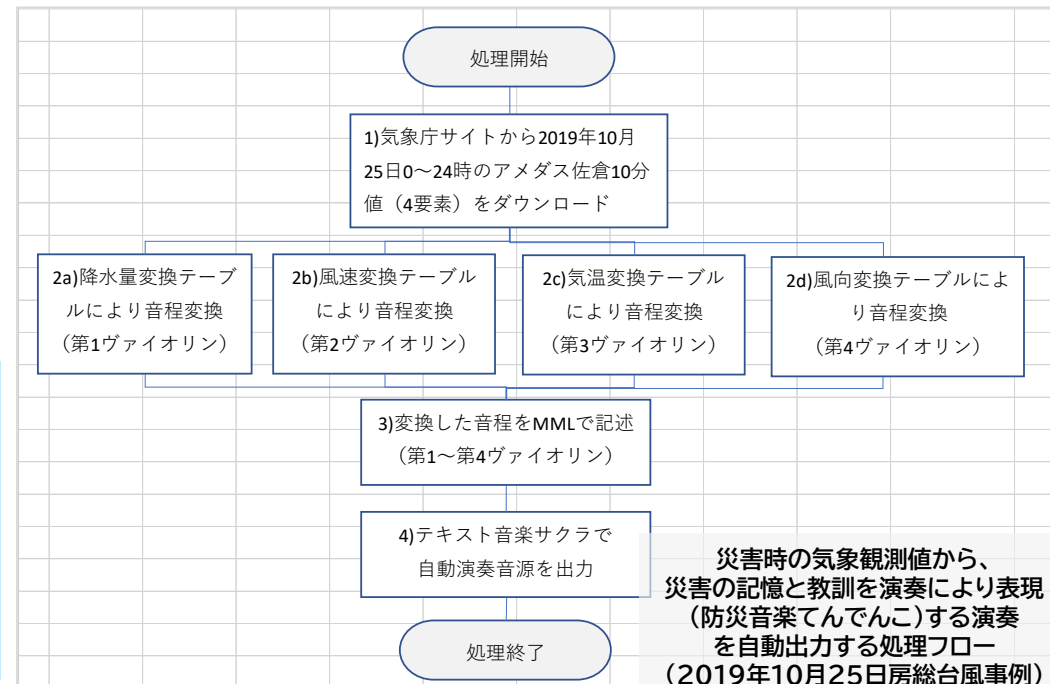
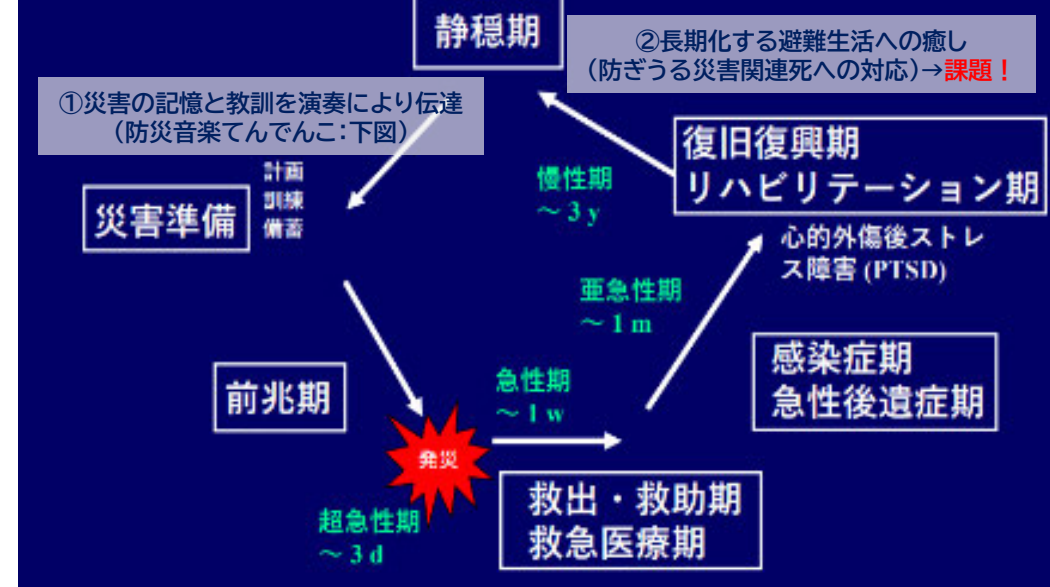
クラシックの名曲や演歌・歌謡曲まで様々なプログラムにより慰問演奏を行ってきた演奏により被災者へ癒しを届けられるのはどういう音楽なのか

この「問い」に本気で向き合ったのが本研究

物理の授業で海や地震など自然界の「波」も弦楽器が奏でる「音波」も同じ公式で表せることを学んだ。海が奏でる自然界の音（波や風）には**1/fゆらぎと呼ばれる癒し効果**が含まれている。実際の波浪観測値（周波数や角速度）を用いてヴァイオリンの音程へ変換して海洋音楽を創造し、これを自ら演奏して「海が奏でる自然界の音に1/fゆらぎ効果が含まれているか」を実証したい

災害サイクルからみた災害医療

成田赤十字病院 救急集中治療科部長 中西加寿也先生作成の図に筆者追記



研究手順

① 海洋音楽のベースとなるデータ取得

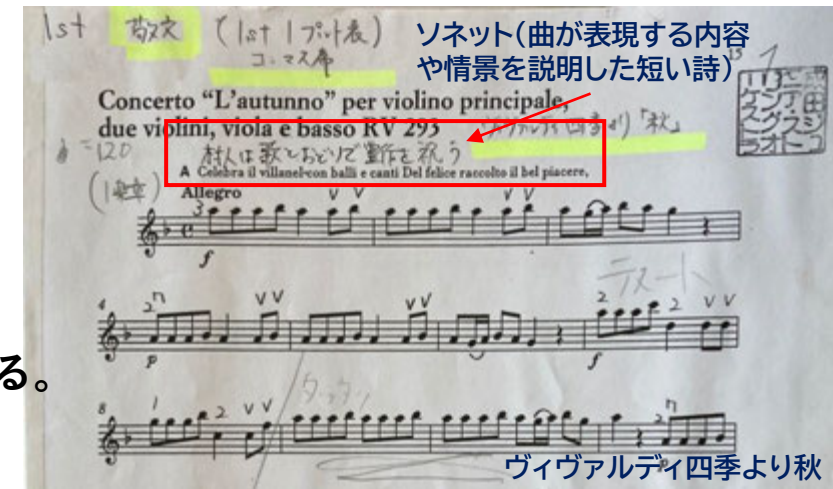
全国港湾海洋波浪情報網「ナウファス」による波浪観測値（成田に最も近い観測地点は「鹿島」）を取得。有義波高（m）と周期（T）を第1ヴァイオリン、波向（度）を第2ヴァイオリンとして音程変換理論を設計する。

② 設計した理論により音程を計算

①で設計した理論とナウファスデータを用いて、第1、第2ヴァイオリンそれぞれの音程を計算して算出する。

③ 海洋音楽の設計

波が奏でる海洋音楽を設計する。本研究では筆者らが演奏した経験があり、嵐や泉のせせらぎなど自然界の現象を表現しているヴィヴァルディ「四季」の形式（ソネットによる情景描写）を採用する。ソネット（詩）については右図を参照。



④ 設計した曲の構想に適合する気象条件を検索

第1主題は「夏の深夜のミステリアスな太平洋」、第2主題は「荒れ狂う鹿島灘」、第3主題は「荒天を乗り越え穏やかな初冬の家」を示すものとする。この主題に適合する気象状況を気象庁「日々の天気図」から検索し、作曲に用いるデータを確定させる。併せて、各主題に即したソネットと曲のタイトルを決定する。

⑤ 海洋音楽の楽譜作成・実演

②で計算した音程を用いてヴィヴァルディ「四季」形式で海洋音楽「鹿島灘のしらべ」を作曲し、各主題にソネットをつける。③の設計に基づく曲想に合うよう演奏表現や技法をつけて完成させた海洋音楽を実際に演奏する。第1ヴァイオリン（波高）を横内敬文が、第2ヴァイオリン（波向）を野中太陽がそれぞれ担当する。

⑥ 1/fゆらぎの検証

⑤で演奏した音源（WAV）ファイルをフーリエ解析し、筆者達が作曲・演奏した海洋音楽に「1/fゆらぎ（癒し効果）」がふくまれるかを検証する。

①～⑥の各手順に基づく研究成果を次ページ以降で報告する

使用データと音程変換理論の設計

海洋音楽のベースデータ

- ・ナウファス(全国港湾海洋波浪情報網)「鹿島」の有義波高(m)・周期(T)、波向(度)の20分間毎観測データ。
- ・鹿島灘の特徴(右記)と気象状況を踏まえ、各主題に用いる観測データは下記の範囲とした。
 - ★第1主題(1~5小節)「夏の深夜のミステリアスな太平洋」2019年8月1日0:00~10:00(31データ)
 - ★第2主題(6~10小節)「荒れ狂う鹿島灘」2019年9月9日0:00~5:20(17データ)
 - ★第3主題(11~14小節)「荒天を乗り越え穏やかな初冬の海」2019年11月1日0:00~5:40(18データ)

音程変換理論の設計

- ・ヴァイオリンの音域は右に示す通り。



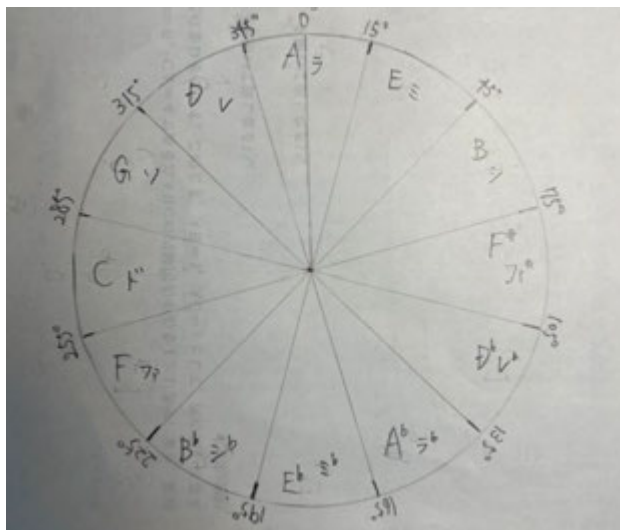
第1ヴァイオリン(設計担当:横内敬文)

- ・有義波高の周期(T)を用いて、波の公式「周波数 f (Hz) = $1/T$ 」より周波数を求める。算出した周波数を10000倍し($f \times 10000$)、ヴァイオリンの音域帯に変換する。
- ・ヴァイオリン音域の周波数一覧表(下記)を用いて、求めた周波数を音程に変換したものを第1ヴァイオリンの音程とした。
- ・基準音(ラ)はオーケストラピッチ(442Hz)とする。

音名	G	G#/A♭	A	A#/B♭	B	C	C#/D♭	D	D#/E♭	E	F	F#/G♭	G	G#/A♭	A	A#/B♭	B	C	C#/D♭	D	D#/E♭	E	F	F#/G♭
整数(d)	-14	-13	-12	-11	-10	-9	-8	-7	-6	-5	-4	-3	-2	-1	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
周波数(f)	197	209	221	234	248	263	278	295	313	331	351	372	394	417	442	468	496	526	557	590	625	662	702	743
音名	ソ	ソ#	ラ	ラ#	シ	ド	ド#	レ	レ#	ミ	ファ	ファ#	ソ	ソ#	ラ	ラ#	シ	ド	ド#	レ	レ#	ミ	ファ	ファ#
音名	G	G#/A♭	A	A#/B♭	B	C	C#/D♭	D	D#/E♭	E	F	F#/G♭	G	G#/A♭	A	A#/B♭	B	C	C#/D♭	D	D#/E♭	E	F	F#/G♭
整数(d)	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33
周波数(f)	788	834	884	937	992	1051	1114	1180	1250	1325	1403	1487	1575	1669	1768	1873	1985	2103	2228	2360	2500	2649	2807	2973
音名	ソ	ソ#	ラ	ラ#	シ	ド	ド#	レ	レ#	ミ	ファ	ファ#	ソ	ソ#	ラ	ラ#	シ	ド	ド#	レ	レ#	ミ	ファ	ファ#

第2ヴァイオリン(設計担当:野中太陽)

- ・波向(度)を用いてヴァイオリンの音程を求める。
- ・角速度は360度での観測であるため、時計盤にヒントを得た音程変換環(下図)を自ら考案した。基準音ラ(=442Hz)を0度とし、音程変換環を用いて求めた音程を第2ヴァイオリンとした。



鹿島灘の特徴(野中調べ)

- ・寒暖両海流が会合する穏やかな好漁場。水域環境の研究施設を立ち上げて成果を上げている。特筆すべきは「アマモ研究」である。
- ・アマモが群生するアマモ場は、多様な種類の魚(アミメハギ、タツノオトシゴ、メバル幼魚、ナマコなど)の餌場や稚魚の棲み家となる。「海のゆりかご」と呼ばれている。アマモ場は、海をきれいにし光合成により二酸化炭素を吸収して酸素を作るなど、海の生き物だけでなく私たち人間にとっても大切な存在だが、沿岸域の埋立てや水質汚濁などにより残念ながら減少傾向にある。
- ・鹿島灘では「海のゆりかご・アマモ移植用基盤」を研究・構築してアマモ場の維持に努めている。

出典:真岡東雄(1992)「鹿島灘砂浜域における漁業生産の特徴と問題点」、水産海洋研究第57巻2号

設計に基づく1stVn、2ndVnの音程計算結果を次ページに示す

海洋音楽「鹿島灘のしらべ」1stVn・2ndVn音程変換表

【第1主題】										海洋音楽		
	有義波高 (m)	周期T (sec)	波向 (度)	周波数 (f)	f×10000 (Hz)	1stVn	2ndVn					
2019	8	1 0 0	0.62	9.5	101	0.105263158	1052.631579	ド	ファ#	↑ 【第1ソネット部】 1stVn(1)~5小節、2ndVn(1)~6小節2泊目 ↓		
2019	8	1 20	0.69	10.9	77	0.091743119	917.4311927	ラ#	ファ#			
2019	8	1 40	0.71	11.3	56	0.088495575	884.9557522	ラ	シ			
2019	8	1 10	0.6	10.1	77	0.099009901	990.0990099	シ	ファ#			
2019	8	1 120	0.62	10.3	73	0.097087379	970.8737864	シ	シ			
2019	8	1 140	0.61	10.3	101	0.097087379	970.8737864	シ	ファ#			
2019	8	1 20	0.67	10.9	68	0.091743119	917.4311927	ラ#	シ			
2019	8	1 220	0.66	10.9	97	0.091743119	917.4311927	ラ#	ファ#			
2019	8	1 240	0.58	9.4	101	0.106382979	1063.829787	ド	ファ#			
2019	8	1 30	0.7	10.7	101	0.093457944	934.5794393	ラ#	ファ#			
2019	8	1 320	0.6	10.7	9999	0.093457944	934.5794393	ラ#	休			
2019	8	1 340	0.57	9.7	81	0.103092784	1030.927835	ド	ファ#			
2019	8	1 40	0.64	10.6	93	0.094339623	943.3962264	ラ#	ファ#			
2019	8	1 420	0.65	9.9	73	0.101010101	1010.10101	ド	シ			
2019	8	1 440	0.64	10.4	89	0.096153846	961.5384615	ラ#	ファ#			
2019	8	1 50	0.65	9.7	52	0.103092784	1030.927835	ド	シ			
2019	8	1 520	0.66	10.2	68	0.098039216	980.3921569	ラ#	シ			
2019	8	1 540	0.69	9.8	81	0.102040816	1020.408163	ド	ファ#			
2019	8	1 60	0.69	10.2	52	0.098039216	980.3921569	ラ#	シ			
2019	8	1 620	0.68	9	118	0.111111111	1111.111111	ド#	レ♭			
2019	8	1 640	0.72	10.3	93	0.097087379	970.8737864	シ	ファ#			
2019	8	1 70	0.66	11.1	60	0.09009009	900.9009009	ラ	シ			
2019	8	1 720	0.62	9.9	9999	0.101010101	1010.10101	シ	休			
2019	8	1 740	0.62	9.9	81	0.101010101	1010.10101	シ	ファ#			
2019	8	1 80	0.64	9.9	105	0.101010101	1010.10101	シ	ファ# or レ♭			
2019	8	1 820	0.62	9.2	101	0.108695652	1086.956522	ド	ファ#			
2019	8	1 840	0.64	9.8	85	0.102040816	1020.408163	シ	ファ#			
2019	8	1 90	0.62	9.2	73	0.108695652	1086.956522	ド	シ			
2019	8	1 920	0.64	10.5	85	0.095238095	952.3809524	ラ#	ファ#			
2019	8	1 940	0.62	10.3	85	0.097087379	970.8737864	ラ#	ファ#			
2019	8	1 10 0	0.69	10.5	89	0.095238095	952.3809524	ラ#	ファ#			

【第2主題】										海洋音楽		
	有義波高 (m)	周期T (sec)	波向 (度)	周波数 (f)	f×10000 (Hz)	1stVn	2ndVn					
2019	9	9 0 0	1.75	8.5	126	0.117647059	1176.470588	レ	レ♭	↑ 【第2ソネット部】 1stVn・2ndVn(6)~100小節 ↓		
2019	9	9 20	1.84	8.8	118	0.113636364	1136.363636	ド#	レ♭			
2019	9	9 40	1.74	8.8	118	0.113636364	1136.363636	ド#	レ♭			
2019	9	9 10	1.82	8.2	118	0.12195122	1219.512195	レ#	レ♭			
2019	9	9 120	1.92	8.8	109	0.113636364	1136.363636	ド#	レ♭			
2019	9	9 140	1.9	8.3	105	0.120481928	1204.819277	レ#	ファ# or レ♭			
2019	9	9 20	1.84	7.4	118	0.135135135	1351.351351	ミ	レ♭			
2019	9	9 220	2	7.5	109	0.133333333	1333.333333	ミ	レ♭			
2019	9	9 240	1.97	6.9	109	0.144927536	1449.275362	ファ#	レ♭			
2019	9	9 30	2.05	7.2	9999	0.138888889	1388.888889	ミ#	休			
2019	9	9 320	2.19	6.9	105	0.144927536	1449.275362	ファ#	ファ# or レ♭			
2019	9	9 340	2.35	7.2	9999	0.138888889	1388.888889	ミ#	休			
2019	9	9 40	2.56	7.6	9999	0.131578947	1315.789474	ミ	休			
2019	9	9 420	2.51	7.8	9999	0.128205128	1282.051282	レ#	休			
2019	9	9 440	2.66	7.9	9999	0.126582278	1265.822785	レ#	休			
2019	9	9 50	3.13	7.7	9999	0.12987013	1298.701299	レ#	休			
2019	9	9 520	3.3	7.2	9999	0.138888889	1388.888889	ミ#	休			

【第3主題】										海洋音楽		
	有義波高 (m)	周期T (sec)	波向 (度)	周波数 (f)	f×10000 (Hz)	1stVn	2ndVn					
2019	11	1 0 0	0.86	8.5	60	0.117647059	1176.470588	レ	シ	↑ 【第3ソネット部】 1stVn・2ndVn(1)~14小節 ↓		
2019	11	1 20	0.98	9.2	52	0.108695652	1086.956522	レ	シ			
2019	11	1 40	1.05	10	48	0.1	1000	シ	シ			
2019	11	1 10	0.98	9.7	60	0.103092784	1030.927835	ド	シ			
2019	11	1 120	0.93	9.7	93	0.103092784	1030.927835	ド	ファ#			
2019	11	1 140	1.01	10.2	68	0.098039216	980.3921569	シ	シ			
2019	11	1 20	0.93	9.5	77	0.105263158	1052.631579	ド	ファ#			
2019	11	1 220	0.95	9.8	68	0.102040816	1020.408163	シ	シ			
2019	11	1 240	0.98	10	73	0.1	1000	ド	シ			
2019	11	1 30	1.05	10.2	68	0.098039216	980.3921569	シ	シ			
2019	11	1 320	0.88	9.8	56	0.102040816	1020.408163	ド	シ			
2019	11	1 340	0.95	9.3	64	0.107526882	1075.268817	ド#	シ			
2019	11	1 40	0.94	10	32	0.1	1000	ド	ミ			
2019	11	1 420	1.03	9.6	60	0.104166667	1041.666667	ド	シ			
2019	11	1 440	0.94	9.5	56	0.105263158	1052.631579	ド	シ			
2019	11	1 50	0.95	10.6	56	0.094339623	943.3962264	ラ#	シ			
2019	11	1 520	0.86	9.5	73	0.105263158	1052.631579	ド	シ			
2019	11	1 540	0.93	10.1	19	0.099009901	990.0990099	シ	ミ			

算出した1stVn,2ndVnの音程を用いてヴァイオリン二重奏曲の楽譜を作成する。楽譜には主題ごとにソネットを付記し、ソネットが示す海の様子を表現できるように演奏技法や強弱を楽譜にコメントする。

海洋音楽「鹿島灘のしらべ」楽譜と演奏動画

海洋音楽「鹿島灘のしらべ」上段（1stVn 横内敬文）・下段（2ndVn 野中太陽）

【第1ソネット】真夜中に不規則に響く波の音

Musical score for the first sonnet, measures 1-4. The tempo is marked $J=100$ and the dynamic is mf . The music features a melodic line with triplets and a bass line with chords.

【第2ソネット】荒ぶる嵐と白波

Musical score for the second sonnet, measures 5-8. The dynamic is marked ff . The music features a melodic line with triplets and a bass line with chords.

【第3ソネット】嵐が過ぎ去って戻ってきた静寂

Musical score for the third sonnet, measures 9-12. The dynamic is marked mf . The music features a melodic line with triplets and a bass line with chords.

Musical score for the third sonnet, measures 13-14. The music features a melodic line with triplets and a bass line with chords.

楽譜作成にはアプリ「iWriteMusic」を利用



第1ヴァイオリン
横内 敬文

第2ヴァイオリン
野中 太陽

↓ 演奏動画はこちら ↓

<https://youtu.be/sFmGi3WvkkQ>



僕達が奏でる海洋音楽
「鹿島灘のしらべ」
はいかがだったでしょうか

海と音楽のチカラで
被災地を
元気にする！

演奏音源に含まれる1/fゆらぎを検証

1/fゆらぎとは（野中調べ）

・1/fゆらぎとは「フーリエ分析した波動のパワースペクトルがフーリエ周波数fに反比例したグラフ1/fが45度の傾斜を持つ」傾向にあるもの。
・小川のせせらぎ、波の打ち寄せる音、木目模様など、我々が心地良く感じるさまざまな自然界のリズムに潜んでおり、生体にとって自然な快い刺激であることが認知されている。

出典：一般財団法人カワイサウンド技術・音楽振興財団「音・音楽と1/fゆらぎ」

演奏動画のWAVファイルを読み込んでフーリエ変換し、フーリエ解析で分解した結果を各周波数ごとにグラフ化して分析するフリーソフト「音のゆらぎ解析君（音楽研究所）」を用いて検証する。

※フーリエ解析は高校物理の範囲では十分な理解が得られなかったため、外部ソフトを用いた分析を行うことにした

<https://www.asahi-net.or.jp/~hb9t-ktk/music/Japan/Soft/Yuragi.html>



筆者達が演奏した海洋音楽「鹿島灘のしらべ」の音源に1/fゆらぎは含まれるのか！？

海洋音楽「鹿島灘のしらべ」フーリエ解析の結果

・本研究で作曲・演奏した「鹿島灘のしらべ」演奏音源（WAVファイル）を「音のゆらぎ解析君」に読み込んで1/fグラフを出力したところ、左図の通り、傾斜45度前後のグラフが描かれた。

・筆者達らの演奏音源には1/fゆらぎ特性が存在することを検証できた。この傾向が偶発的なものでないかどうかを確認するため、様々なジャンルの音楽について音源を解析して比較検証した結果を下記に示す。

パワースペクトル

筆者達の演奏「鹿島灘のしらべ」音源ファイルの周波数特性分析結果

1/fの傾斜は45度前後！

フーリエ周波数

【比較検証①】

1/fゆらぎと言えばモーツァルト！
「フルートとハープのための協奏曲」
第2楽章

1/fグラフの傾斜はピタッと45度！

フーリエ周波数

【比較検証②】

Jポップの代表格！
YOASOBI「アイドル」

1/fグラフの傾斜は
前半70度前後・後半30度前後

フーリエ周波数

筆者らの海洋音楽「鹿島灘のしらべ」にはモーツァルトレベルの1/fゆらぎ特性が確認できることを実証することができた

結論

- 海の恵みには気候緩和効果、水産資源、薬などの原材料、水源などSDGzに応じた様々なものがあるが、島国日本列島を取り巻く「海の存在」そのものが「人の心の癒し (=社会的資源)」であることを科学的に立証した先行研究は見られない。本研究では実際の波浪観測値を音程変換して海洋音楽を創造し、音楽部員である筆者達自らの演奏により、波が奏でる音楽には $1/f$ ゆらぎ特性（心の癒し効果）が存在することを実証することができた。
- ナウファス波浪観測値の有義波高と波向から音程変換したヴァイオリン二重奏曲を実演し、その音源をフーリエ変換した結果、 $1/f$ の傾斜が45度に近似していることを検証した。但し、筆者らが対象とした日時の観測値及び演奏音源に偶然 $1/f$ カーブが含まれていた可能性もあり、今後はより多くのデータを検証することが課題。
- 筆者達ヴァイオリン奏者は自らの演奏で海の魅力を表現できる。今後、本研究成果を更に発展させて、全国各地の波浪観測値から海洋音楽を生み出し、部活動の演奏会のプログラムとするなど、自らの演奏で被災地への癒しとして届けていきたい。

海と音楽のチカラで被災地を元気にする！

参考文献

- 田原真人「これだけ高校物理 波動編」、秀和システム
- 横内敬文（2023）「災害時の気象データを活用した“防災音楽てんでんこ”自動生成処理の設計」、武蔵野大学第9回数理工学コンテスト優秀賞受賞作品
- 中西加寿也（2022）「成田赤十字病院出前講座・災害の備えとサバイバル、成田ジュニアストリングオーケストラ夏季研修資料」
- 気象庁ホームページ <https://www.jma.go.jp/jma/index.html>
- ナウファス(全国港湾海洋波浪情報網) データダウンロードサイト <https://www.mlit.go.jp/kowan/nowphas/>
- 横内敬文（2023）「地域災害医療における音楽の貢献可能性～千葉県・成田ジュニアストリングオーケストラ“災害と音楽”探究チームの挑戦～」、防災教育学研究3巻2号
- 音楽研究所「音のゆらぎ解析君」 <https://www.asahi-net.or.jp/~hb9t-ktd/music/Japan/Soft/Yuragi.html>
- 真岡東雄（1992）「鹿島灘砂浜域における漁業生産の特徴と問題点」、水産海洋研究第57巻2号
- 一般財団法人カワイサウンド技術・音楽振興財団「音・音楽と $1/f$ ゆらぎ」
- 横内敬文・野中太陽（2023）「波浪観測値を音程変換した演奏音源に見られる $1/f$ ゆらぎ現象-フーリエ解析による海洋音楽の癒し効果分析-」千葉大学高校生理科研究発表会
- 音楽研究所ホームページ（音の揺らぎ解析君） http://www.asahi-net.or.jp/~hb9t-ktd/music/Japan/Research/Yuragi/music_variation.htm

