

1. 研究の要約

本研究は、災害時の気象データから作曲した「防災音楽てんでんこ」により、音楽という手段を用いて地域へ災害記憶や危機感を伝えようとするジュニアオーケストラの探究活動を、MML (Music Macro Language : 音楽演奏を表現するデータ記述言語) によって自動処理しようと設計検討したものである。3年間の探究活動の成果と課題を踏まえ、中学・高校レベルの数学・情報を用いて災害時の気象データを楽曲へ出力する処理設計を試みた。

2. 研究の動機と目的

長期化するコロナ禍は学校生活だけでなく、課外活動にも深刻な影響をもたらし続けている。筆者は6歳から10年間、地域のジュニアオーケストラのヴァイオリン奏者として活動してきたが、コロナ禍初期の自粛ムードで蔓延した「音楽は不要不急の存在」との世論を受け、3年間以上にわたって演奏活動に大きな制約を受け続けている。音楽は地域社会にとって本当に不要の存在なのか。不要不急と評価されたアマチュア音楽家が、地域のために貢献できることはないのだろうか。

筆者は、新学習指導要領が前倒しで導入された千葉大学教育学部附属中学校において、正規の探究科目(附中探Q記)として防災教育に係るゼミや探究活動に取り組んできた。高校進学後は、2022年度から導入された新課程「総合的な探究の時間」の中で、地域災害医療における音楽の貢献可能性についての探究を継続して行っている。また、中学・高校で受けてきた教育を軸に、アマチュア音楽家が地域のためにできることを追求しようと、所属するジュニアオーケストラの仲間とともに楽団内に探究チームを立ち上げ、この3年間、「音楽を用いた災害記憶の伝承」をテーマに課外活動も行ってきた。本研究では、これまでの探究活動から明らかになった課題を踏まえ、災害時の気象データを活用した「防災音楽てんでんこ」の自動生成処理に取り組むこととした。「防災音楽てんでんこ」とは筆者の造語である。「てんでんこ」とは、津波などの災害時に“自分の命は自分で守れ”ということを伝える東北地方の方言であるが、言葉や文字だけではなく、災害時の気象データから作成した曲を自ら演奏することで、音楽によって災害記憶や危機感を伝えようとする一連の防災啓発活動及びコンテンツを「防災音楽てんでんこ」と筆者らのチームは称している。

本論の前に、過去3年間の探究活動の成果とここから明らかになった課題を簡潔に取りまとめる。

2-1. ヴァイオリンソナタ第1番「雨の歌」の数学的分析から見る作曲者ブラームスの心象風景(2020)

ブラームスの名曲「ヴァイオリンソナタ第1番」は「雨の歌」と呼ばれている。筆者は所属するジュニアオーケストラの演奏会で初めてこのソナタを聴いたとき、そこに災害としての大雨や洪水などの情景をまったく思い浮かべることはなかった。むしろ雨上がりの明るい希望に満ちた情景が心の中を占めた。作曲者ブラームスはどのような情景を思い浮かべて「雨の歌」を作曲したのだろうか。そこで、「作曲家は数学的思考により心象風景や作曲地の情景を記譜しているのではないか」という仮説検証を基に、地理的特徴が類似する長野県松本地域の降水量データと楽譜の周波数との類似度分析を行い、第1楽章を特徴づける第2主題が「2016年8月30日」に日本各地に降雨をもたらした事例の降水量データに類似していることを提示した。

研究成果を日本気象学会の2021年度ジュニアセッションに発表したところ(参考文献[1])、気象学の専門家から以下の助言をいただいた。

- ・ 降水量だけでなく、他の気象要素との分析や別の曲との関連性も研究してみたらどうか。
- ・ 偶然の一致とは思えない。他の事例でも検証してみるべきである。
- ・ 類似度分析は相関解析など客観的な手法を用いる方が良い。x成分を楽曲の周波数、y成分を降水強度として回帰分析を行ってみてはどうか。

これらの指摘や助言を踏まえ、相関解析の手法を用いて客観的に気象データと楽曲との関連性を明らかにすることとした。探究の舞台は「アイヌ民族音楽」(北海道)。度重なる厄災を乗り越えてきた「アイヌの祈り(音楽や歌による伝承)」がどのように地域の自然現象や災害を表現し、その音楽と相関が高い気象データはどの地点・期間のどの要素であるかを数学的手法により提示した。

2-2. アイヌ生活圏の地理的・気象的特性から導き出される防災音楽てんでんこ開発の試み(2021~2022)

北海道白老町及び阿寒町でフィールドワークを行い、アイヌの人々が口伝で伝承してきた伝統音楽「ケヘケヘ タニ パイエアン」の演奏を伝統民族楽器トンコリで習得した。この曲はいわゆる西洋音楽という楽譜がないため、探究チームメンバーが聴音により採譜した(図1)

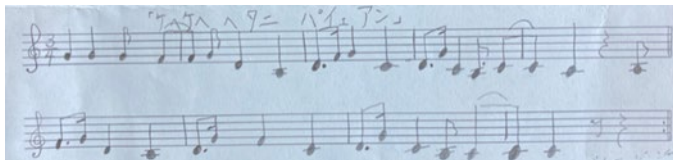


図1「ケヘケヘヘ タニ パイエアン」を聴音により採譜

採譜した楽譜を周波数変換して数値データとし、北海道内の気象観測値（2021年1月～12月までの道内アメダスの日別値）と相関解析を行った結果、アイヌコタンを持つ阿寒町の「アメダス阿寒湖畔」の冬季データと強い相関を確認することができた。そこで、2021年「アメダス阿寒湖畔」の日別値（平均気温、最低・最高気温、降水量、降雪量、平均・最大風速、最大瞬間風速）との相関解析を行い、もっとも相関がある気象要素及び期間を特定した結果を表1に示す。

表1 類似度分析結果（アメダス阿寒湖畔 2021 年日別値のうち最も相関がみられる3 期間・要素を特定）

対象期間	目視結果 (周波数と波形が類似していると判定した気象要素)	相関係数								
		平均気温	最高気温	最低気温	降水量	日照時間	降雪量	平均風速	最大風速	最大瞬間風速
2021/1/8～1/14	平均気温、最低気温、降水量、降雪量、平均風速、最大風速、最大瞬間風速	0.875041	0.58839	0.978702	0.601034	-0.90263	0.571664	0.910849	0.826192	0.715449
2021/2/11～2/18	降雪量	-0.38148	-0.65794	0.058401	-0.25788	-0.34321	0.631479	0.416708	0.401784	0.465614
2021/3/10～3/21	平均気温、最低気温	0.557019	0.309751	0.525544	-0.34321	-0.38636	-0.02712	0.005747	-0.05107	-0.09733

※0未満（青）：負相関、0～0.3未満（白）：ほぼ無関係、0.3～0.5未満（肌色）：非常に弱い相関、0.5～0.7未満（黄）：相関がある、0.7～0.9未満（橙）：強い相関、0.9以上（赤）：非常に強い相関

解析した「ケヘケヘヘ タニ パイエアン」の事例は冬季の阿寒湖の寒さ（最低気温）や風（風速）との相関性が高いことがわかった（参考文献[2]）。表現したい地域や災害の気象データから相関性の高い音程を導きだすことで、より効果的で伝承性が高い「防災音楽てんでんこ」を開発できるのではないかと。

2-3. 成田ジュニア・ストリングオーケストラの主題によるヴァイオリン四重奏「雨の歌」（2022）

2-1,2-2の探究活動より、「災害時の気象データと相関性の高い周波数を特定し、これを音程に変換して演奏することで、その地域に発生した気象災害を音楽（演奏）として表現できるのではないかと」筆者は考えた。悲惨な災害が時とともに風化していき、人々の心に油断や慢心が生まれてしまうのはどうしてだろうか。どうすれば災害の恐ろしさや教訓、被災経験を地域に訴え伝え続けていくことができるだろうか。その答えのひとつが「音楽」ではないか。文字だけでは訴求力に欠ける。生の演奏を通じて目と耳にも災害の記憶を訴えかけていくことが重要だ。また視覚等に障がいを持つ方にも耳から地域の災害の記憶を届けることができれば、決して音楽は「不要不急」の存在ではない。

そこで探究チームの仲間とともに、災害発生時の気象データから災害記憶を伝承するヴァイオリン四重奏を作曲し、言葉や地図にとどまらず「音楽を通じて災害の記憶と教訓を五感に訴えていく」という実践に挑戦することにした。対象とした災害は「2019年10月25日」に千葉県北総地域に甚大な被害をもたらした房総台風である。参考文献[3]の通り、2021年度日本気象学会ジュニアセッションに本研究成果の詳細を発表して、専門家からの評価を仰いでいるため、詳細は参考文献を参照されたい。研究の概要は「各気象要素の平年値を

“A=442Hz”とし、これに対する周波数の比率から各気象要素を音程に変換する理論である。この理論により設計した変換テーブルを用いて、気象庁のアメダス佐倉10分値（2019年10月25日0時～24時）を音程に変換し、ヴァイオリン四重奏での実演を試みた。1時間を1小節（8分の6拍子）で表現し、24小節の作品とした。編成は「降水量（第1ヴァイオリン）」、「風速（第2ヴァイオリン）」、「気温（第3ヴァイオリン）」、「風向（第4ヴァイオリン）」とし、加えて、注意報警報発表や更新のタイミングで打楽器（トライアングル）を叩いている。計算された音程と気象資料からヴァイオリン奏法や強弱、演奏表現などを議論した上で、各パートを担当するメンバーが作成した楽譜を図2に示す。

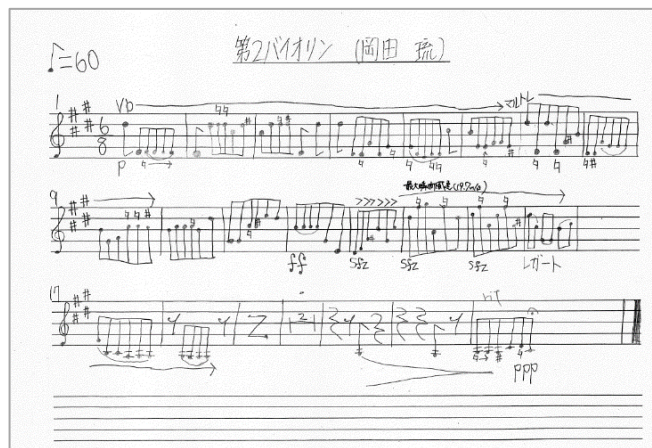




図2 「ヴァイオリン四重奏 雨の歌」パート譜（第1～第4ヴァイオリン）

先行研究の報告が長くなったが、ここからが本題である。図2を地域で初演して「演奏で災害の記憶を伝承することはできていたか」、「アマチュア演奏家が地域防災に貢献できる可能性はあるか」を聴衆にアンケートで問うたところ、以下のような高い評価をいただくことができた。

- ・ ヴァイオリンの不協和音やトライアングルにより、大雨の危機感をよく表現できていた。
- ・ 洪水による河川の氾濫や堤防決壊を彷彿とさせるすごい試みが伝わってきた。
- ・ 気象データを音楽にし、地域の子供達が演奏して地域防災に貢献するという斬新な試みに驚かされた。音楽の持つ可能性や子ども達に期待している。より多くの事例を演奏してほしい。

ところが、この「気象データを数学的手法により楽譜に変換し、演奏表現で災害記憶を伝承する」という活動は大変手間がかかるものであり、今後活動を展開していくには、演奏者の技量やリソース不足という問題に直面した。各地で災害が起きる都度、手作業で分析や楽譜の作成を個別事例ごとに行い、メンバーが集ってアンサンブルの練習を行うという活動は現実的ではない。そして、これではとても「アマチュア演奏家が音楽により地域防災に貢献」することはできない。この3年間、手探りでやってきた一連の分析フローをモデル化し、数理工学手段により自動処理で「防災音楽てんでんこ」を生成していくことはできないだろうか。それも高度なプログラムやツールを用いるのではなく、筆者ら中高生が学校で学ぶ数学や情報のレベルで解決したい。本研究では、この2-1～2-3の3年間の探究成果をモデル化し、気象庁が公開する気象観測データを自動処理で楽譜に変換して、自動音声等により出力する設計を試みる。まだまだ完成度は低いが、「音楽が地域防災のためにできること（演奏による災害の危機意識の伝承）」を全国展開するための第一歩になればよいと願う。

3. 方法

まず、災害時の気象観測データから「防災音楽てんでんこ」としての演奏を出力するまでの一連の処理フローを設計することとした（図3）。参考にしたのは高校の「情報Ⅰ」の教科書（参考文献[4]）である。事例は、先行研究2-3（千葉県北総地域に甚大な被害をもたらした2019.10.25の房総台風をヴァイオリン四重奏で表現）である。

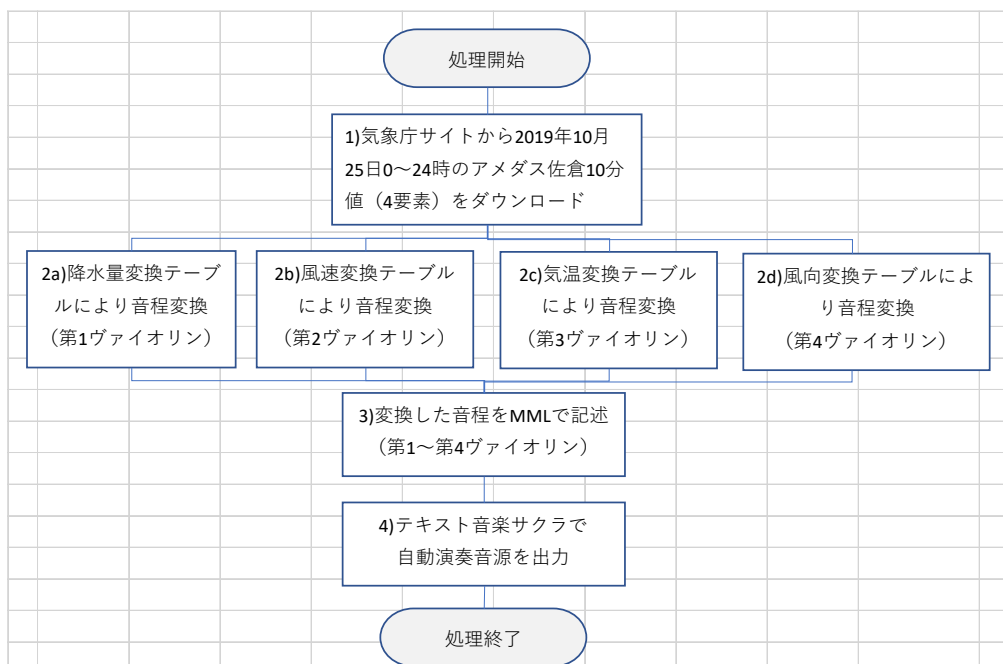


図3 気象観測値から防災音楽てんでんこを自動出力するフロー（2019年10月25日房総台風の事例）

使用したデータは、参考文献[5]の気象庁の過去データダウンロードサイトで入手できる過去のアメダス観測データである。本研究では2019年10月25日の0時～24時までのアメダス佐倉10分値データ（1時間に6データ×24時間分：144データ）の気温、降水量、風向風速を用いた（図3の処理1）。

次にダウンロードした気象観測値を音程変換する（図3の処理2a～2d）。変換テーブルは、参考文献[6]及び先行研究（参考文献[1]～[3]）に基づき、「各気象要素の平年値を“A=442Hz”とし、これに対する周波数の比率から各気象要素を音程に変換」する理論とした。降水や風速など強度が強いほど高音域をフォルテで弾く設計とし、静穏や降水ゼロに近づくほど低音になりピアノシモへ減衰させる。また観測値0は休符とする。上昇音階になればなるほど激しい嵐の様子を表現していることになる。各気象要素の変換テーブルを表2～表6に示す。

表2 ヴァイオリンの音域に対応した周波数一覧

音名	G	G#	A	A#	B	C	C#	D	D#	E	F	F#	G	G#	A	A#	B	C	C#	D	D#	E	F	F#
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)	196.9	208.6	221	234.1	248.1	262.8	278.4	295	312.5	331.1	350.8	371.7	393.8	417.2	442	468.3	496.1	525.6	556.9	590	625.1	662.3	701.6	743.4
音名	G	G#	A	A#	B	C	C#	D	D#	E	F	F#	G	G#	A	A#	B	C	C#	D	D#	E	F	F#
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)	787.6	834.4	884	936.6	992.3	1051	1114	1180	1250	1325	1403	1487	1575	1669	1768	1873	1985	2103	2228	2360	2500	2649	2807	2973

表3 第1 ヴァイオリン（降水量）の音程変換テーブル

音名	G	G#	A	A#	B	C	C#	D	D#	E	F	F#	G	G#	A	A#	B	C	C#	D	D#	E	F	F#
A(442Hz)に対する周波数比率	0.445	0.472	0.5	0.53	0.561	0.595	0.63	0.667	0.707	0.749	0.794	0.841	0.891	0.944	1	1.059	1.122	1.189	1.26	1.335	1.414	1.498	1.587	1.682
降水量10分値(mm)	1.773	1.878	1.99	2.108	2.234	2.367	2.507	2.656	2.814	2.982	3.159	3.347	3.546	3.757	3.98	4.217	4.467	4.733	5.014	5.313	5.629	5.963	6.318	6.694
音名	G	G#	A	A#	B	C	C#	D	D#	E	F	F#	G	G#	A	A#	B	C	C#	D	D#	E	F	F#
A(442Hz)に対する周波数比率	1.782	1.888	2	2.119	2.245	2.378	2.52	2.67	2.828	2.997	3.175	3.364	3.564	3.775	4	4.238	4.49	4.757	5.04	5.339	5.657	5.993	6.35	6.727
降水量10分値(mm)	7.092	7.513	7.96	8.433	8.935	9.466	10.03	10.63	11.26	11.93	12.64	13.39	14.18	15.03	15.92	16.87	17.87	18.93	20.06	21.25	22.51	23.85	25.27	26.77

表4 第2 ヴァイオリン（風速）の音程変換テーブル

音名	G	G#	A	A#	B	C	C#	D	D#	E	F	F#	G	G#	A	A#	B	C	C#	D	D#	E	F	F#
A(442Hz)に対する周波数比率	0.445	0.472	0.5	0.53	0.561	0.595	0.63	0.667	0.707	0.749	0.794	0.841	0.891	0.944	1	1.059	1.122	1.189	1.26	1.335	1.414	1.498	1.587	1.682
最大瞬間風速(m/s)	4.37	4.63	4.905	5.197	5.506	5.833	6.18	6.547	6.937	7.349	7.786	8.249	8.74	9.259	9.81	10.39	11.01	11.67	12.36	13.09	13.87	14.7	15.57	16.5
音名	G	G#	A	A#	B	C	C#	D	D#	E	F	F#	G	G#	A	A#	B	C	C#	D	D#	E	F	F#
A(442Hz)に対する周波数比率	1.782	1.888	2	2.119	2.245	2.378	2.52	2.67	2.828	2.997	3.175	3.364	3.564	3.775	4	4.238	4.49	4.757	5.04	5.339	5.657	5.993	6.35	6.727
最大瞬間風速(m/s)	17.48	18.52	19.62	20.79	22.02	23.33	24.72	26.19	27.75	29.4	31.14	33	34.96	37.04	39.24	41.57	44.05	46.66	49.44	52.38	55.49	58.79	62.29	65.99

表5 第3 ヴァイオリン（気温）の音程変換テーブル

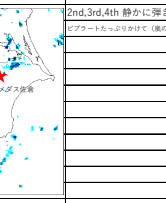
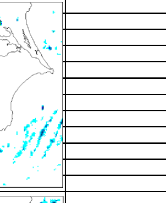
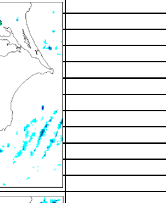
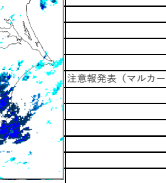
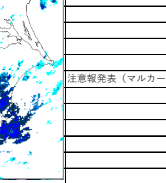
音名	G	G#	A	A#	B	C	C#	D	D#	E	F	F#	G	G#	A	A#	B	C	C#	D	D#	E	F	F#
気温 (°C)	15.5	15.6	15.7	15.8	15.9	16	16.1	16.2	16.3	16.4	16.5	16.6	16.7	16.8	16.9	17	17.1	17.2	17.3	17.4	17.5	17.6	17.7	17.8
音名	G	G#	A	A#	B	C	C#	D	D#	E	F	F#	G	G#	A	A#	B	C	C#	D	D#	E	F	F#
気温 (°C)	17.9	18	18.1	18.2	18.3	18.4	18.5	18.6	18.7	18.8	18.9	19	19.1	19.2	19.3	19.4	19.5	19.6	19.7	19.8	19.9	20	20.1	20.2

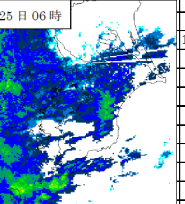
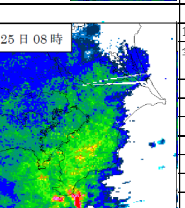
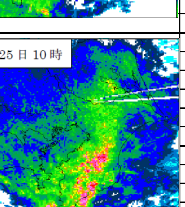
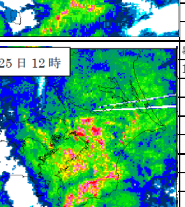
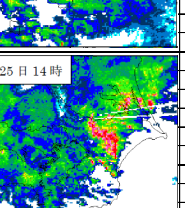
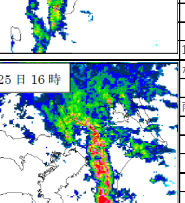
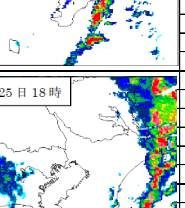
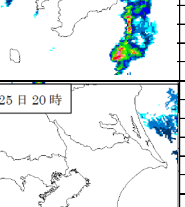
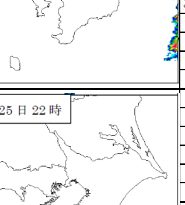
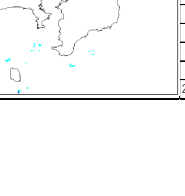
表6 第4 ヴァイオリン（風向）の音程変換テーブル

音名	D	D#	E	F	F#	G	G#	A	A#	B	C	C#	D	D#	E	F
風向	NE1	NE2	ENE3	E4	ESE5	SE6	SSE7	S8	SSW9	SW10	WSW11	W12	WNW13	NW14	NNW15	N16

図3の処理1～2a,2b,2c,2d までの出力結果は表7の通りである。

表7 アメダス佐倉2019年10月25日10分値（音程変換表）

小節番号 (8分の6 拍子)	時分	10分 降水量 (mm)	1時間 降水量 (mm)	第1 ヴァイ オリン 音程 表記	1stVn 音程 表記	第2 ヴァイ オリン 音程 表記	2ndVn 音程 表記	第3 ヴァイ オリン 音程 表記	3rdVn 音程 表記	風向 (16分 位)	第4 ヴァイ オリン 音程 表記	4thVn 音程 表記	注意警報発表状況 観測記録簿 (鏡子地方気象台)	打楽器	強弱	ボ リュ ーム	気象資料 (レーダーエコー合成図)	奏法や演奏表現 ※人間が演奏する場合のみ	
1小節	0:10	0	0	休符	r	6.8	レ#	d#	f#	17.2	ド	>c	北北東	ファ	f	ppp	v5		2nd,3rd,4th 静かに弾き始める 2nd,3rd,4th 静かに弾き始める 2nd,3rd,4th 静かに弾き始める
	0:20	0	0	休符	r	8.3	ファ#	f#	17.2	ド	>c	北	北	ミ	e	ppp	v5		
	0:30	0	0	休符	r	7.9	ファ	f	17.3	ド#	>c#	北	北	ミ	e	ppp	v5		
	0:40	0	0	休符	r	7.8	ファ	f	17.3	ド#	>c#	北	北	ミ	e	ppp	v5		
	0:50	0	0	休符	r	7.6	ファ	f	17.3	ド#	>c#	北	北	ミ	e	ppp	v5		
	1:00	0	0	休符	r	7.7	ファ	f	17.3	ド#	>c#	北	北	ミ	e	ppp	v5		
2小節	1:10	0	0	休符	r	8.2	ファ#	f#	17.3	ド#	>c#	北	北	ミ	e	ppp	v5		
	1:20	0	0	休符	r	7.1	レ#	d#	17.4	レ	>d	北	北	ミ	e	ppp	v5		
	1:30	0	0	休符	r	6.6	レ	d	17.4	レ	>d	北	北	ミ	e	ppp	v5		
	1:40	0	0	休符	r	6.5	レ	d	17.3	ド#	>c#	北	北	ミ	e	ppp	v5		
	1:50	0	0	休符	r	5.9	ド#	c#	17.4	レ	>d	北	北	ミ	e	ppp	v5		
	2:00	0	0	休符	r	7	レ#	d#	17.5	レ#	>d#	北北東	ファ	f	ppp	v5			
3小節	2:10	0	0	休符	r	6.2	ド#	c#	17.5	レ#	>d#	北北東	ファ	f	pp	v15			
	2:20	0	0	休符	r	6.7	レ#	d#	17.6	ミ	>e	北北東	ファ	f	pp	v15			
	2:30	0	0	休符	r	6.6	レ	d	17.6	ミ	>e	北	北	ミ	e	pp			v15
	2:40	0	0	休符	r	7.1	レ#	d#	17.5	レ#	>d#	北	北	ミ	e	pp			v15
	2:50	0	0	休符	r	8.1	ファ#	f#	17.7	ファ	>f	北北東	ファ	f	pp	v15			
	3:00	0	0	休符	r	7.2	レ#	d#	17.8	ファ#	>f#	北	北	ミ	e	pp			v15
4小節	3:10	0	0	休符	r	7	レ#	d#	17.7	ファ	>f	北	北	ミ	e	p	v25		
	3:20	0	0	休符	r	8.4	ファ#	f#	17.7	ファ	>f	北北東	ファ	f	p	v25			
	3:30	0	0	休符	r	7.9	ファ	f	17.8	ファ#	>f#	北北東	ファ	f	p	v25			
	3:40	0	0	休符	r	10.6	ラ#	a#	17.5	レ#	>d#	北北東	ファ	f	mp	v45			
	3:50	0	0	休符	r	8.1	ファ#	f#	17.5	レ#	>d#	北北東	ファ	f	mp	v45			
	4:00	0	0	休符	r	8.9	ソ	g	17.3	ド#	>c#	北	北	ミ	e	mp	v45		
5小節	4:10	0	0	休符	r	8.7	ソ	g	17.3	ド#	>c#	北	北	ミ	e	mp	v45		
	4:20	0	0	休符	r	8.1	ファ#	f#	17.3	ド#	>c#	北北東	ファ	f	mp	v45			
	4:30	0	0	休符	r	7.3	ミ	e	17.4	レ	>d	北	北	ミ	e	mp	v45		
	4:40	0	0	休符	r	7.9	ファ	f	17.3	ド#	>c#	北北東	ファ	f	mp	v45			
	4:50	0	0	休符	r	7.8	ファ	f	17.3	ド#	>c#	北	北	ミ	e	mp	v45		
	5:00	0.5	0.5	休符	r	6.3	ド#	c#	17.2	ド	>c	北	北	ミ	e	雷注意報発表	♪		
6小節	5:10	0.5	0.5	休符	r	6	ド#	c#	17.2	ド	>c	北北東	ファ	f	大雨注意報、洪水注意報発表	♪	mf	v65	注意報発表（マルカート奏法へ）
	5:20	0.5	0.5	休符	r	9.2	ソ#	g#	17.3	ド#	>c#	北北東	ファ	f			mf	v65	
	5:30	0.5	0.5	休符	r	8.9	ソ	g	17.2	ド	>c	北東	ファ#	f#			mf	v65	
	5:40	0	0	休符	r	9.9	ラ	a	17.1	シ	b	北北東	ファ	f			mf	v65	
	5:50	0.5	0.5	休符	r	9.6	ラ	a	16.9	ラ	a	北北東	ファ	f			mf	v65	
	6:00	0.5	0.5	休符	r	9.5	ソ#	g#	17	ラ#	a#	北東	ファ#	f#			mf	v65	

7小節	6:10	0.5	6	休符	r	7	レ#	d#	17.3	ド#	>c#	東北東	ファ#	#			mf	v65		1st pizz で入る
	6:20	1		休符	r	7.9	ファ	f	17.4	レ	>d	北北東	ファ	f			mf	v65		
	6:30	1.5		ソ	<g	6.7	レ#	d#	17.4	レ	>d	北北東	ファ	f			mf	v65		
	6:40	1		休符	r	7.6	ファ	f	17.4	レ	>d	北北東	ファ	f			mf	v65		
	6:50	1		休符	r	10.3	ラ#	a#	17.4	レ	>d	北北東	ファ	f			mf	v65		
8小節	7:00	1	休符	r	11.3	シ	b	17.5	レ#	>d#	北東	ファ#	#			mf	v65			
	7:10	1.5	ソ	<g	7.7	ファ	f	17.4	レ	>d	北北東	ファ	f			mf	v65			
	7:20	1	休符	r	8.3	ファ#	#	17.6	ミ	>e	北東	ファ#	#			mf	v65			
	7:30	1.5	ソ	<g	9.7	ラ	a	17.4	レ	>d	北北東	ファ	f			mf	v65			
	7:40	3	ミ	e	9.5	ソ#	g#	17.5	レ#	>d#	北北東	ファ	f			mf	v65			
9小節	7:50	3	ミ	e	8.9	ソ#	g#	17.6	ミ	>e	北	ミ	e			mf	v65			
	8:00	2	ソ	<a	9.5	ソ#	g#	17.4	レ	>d	北北東	ファ	f			mf	v65			
	8:10	2	ソ	<a	11	シ	b	17.4	レ	>d	北	ミ	e			mf	v65			
	8:20	2.5	ド#	c#	9.5	ソ#	g#	17.4	レ	>d	北	ミ	e			mf	v65			
	8:30	3.5	ソ	g	10.4	ラ#	a#	17.5	レ#	>d	北	ミ	e			mf	v85			
10小節	8:40	4	ラ	a	11.8	ド	>c	17.4	レ	>d	北北東	ファ	f			f	v85		1st arco 全パート だんだん強く (クレッシェンドかけていく)	
	8:50	4.5	シ	b	11.7	ド	>c	17.5	レ#	>d#	北北東	ファ	f			f	v85			
	9:00	3	ミ	e	12.7	ド#	>c#	17.6	ミ	>e	北	ミ	e			f	v85			
	9:10	3.5	ソ	g	11.2	シ	b	17.6	ミ	>e	北北東	ファ	f			f	v85			
	9:20	3.5	ソ	g	12.6	ド#	>c#	17.6	ミ	>e	北東	ファ#	#			f	v85			
11小節	9:30	2.5	ド#	c#	12.4	ド#	>c#	17.6	ミ	>e	北	ミ	e			f	v85			
	9:40	3	ミ	e	11.9	ド	>c	17.7	ファ	>f	北	ミ	e			f	v85			
	9:50	4.5	シ	b	10.7	シ	b	17.6	ミ	>e	北	ミ	e			f	v85			
	10:00	3.5	ソ	g	13.5	レ#	>d#	17.6	ミ	>e	北北東	ファ	f			f	v85			
	10:10	3	ミ	e	9.8	ソ#	g#	17.3	ド#	>c#	北	ミ	e			ff	v105			
12小節	10:20	3.5	ソ	g	9.4	ソ#	g#	17.3	ド#	>c#	北	ミ	e			ff	v105			
	10:30	3.5	ソ	g	11.9	ド	>c	17.8	ファ#	>#	北	ミ	e			ff	v105			
	10:40	4	ラ	a	12.2	ド#	>c#	18	ソ#	>#	北	ミ	e			ff	v105			
	10:50	3.5	ソ	g	14.8	ミ	>e	17.9	ソ	>g	北北東	ファ	f			ff	v105			
	11:00	2.5	ド#	c#	14.2	レ#	>d#	17.9	ソ	>g	北	ミ	e			ff	v105			
13小節	11:10	3	ミ	e	12.1	ド#	>c#	18	ソ#	>#	北北東	ファ	f			ff	v105		暴風雨Max (1st,2nd刻む) 全パートff 1st,2nd アクセント&最大値はsfz	
	11:20	3.5	ソ	g	12	ド#	>c#	17.8	ファ#	>#	北北東	ファ	f			ff	v105			
	11:30	3	ミ	e	12.3	ド#	>c#	17.6	ミ	>e	北	ミ	e			ff	v105			
	11:40	2	ソ	<a	12.4	ド#	>c#	17.7	ファ	>f	北北東	ファ	f			ff	v105			
	11:50	1	休符	r	9	ソ#	g#	17.8	ファ#	>#	北北東	ファ	f			ff	v105			
14小節	12:00	2.5	ド#	c#	7.3	ミ	e	17.9	ソ	>g	北	ミ	e			ff	v105			
	12:10	6	ミ	>e	6.8	レ#	d#	18.2	ラ#	>a#	北	ミ	e			ff	v105			
	12:20	12.5	ファ	>f	8	ファ#	#	17.8	ファ#	>#	北	ミ	e			ff	v105			
	12:30	6.5	ファ	#	>f#	10.4	ラ#	a#	17.6	ミ	>e	北	ミ	e			ff			v105
	12:40	6	ミ	>e	10.8	シ	b	17.6	ミ	>e	北	ミ	e			ff	v105			
15小節	12:50	7.5	ソ#	>g#	9.9	ソ#	g#	17.5	レ#	>d#	北	ミ	e			ff	v105		1st,2nd ここまで刻み	
	13:00	8.5	ラ#	>a#	12.7	ド#	>c#	17.3	ド#	>c#	北東	ファ#	#			ff	v105			
	13:10	9.5	ド	>>c	13.9	レ#	>d#	17.1	シ	b	北北東	ファ	f			ff	v105			
	13:20	9.5	ド	>>c	15.3	ファ	>f	16.9	ラ	a	北北東	ファ	f			ff	v105			
	13:30	9.5	ド	>>c	18	ソ#	>g#	16.7	ソ	g	北北東	ファ	f			fff	v105			
16小節	13:40	9	シ	>b	19.7	ラ	>a	16.6	ファ#	#	北北東	ファ	f			fff	v105		トライアングル強く	
	13:50	7	ソ	>g	16.5	ファ#	>f#	16.6	ファ#	#	北北東	ファ	f			fff	v105			
	14:00	8	ラ	>a	13.5	レ#	>d#	16.6	ファ#	#	北	ミ	e			fff	v105			
	14:10	9	ラ	>b	14.4	ミ	>e	16.5	ファ	f	北	ミ	e			fff	v127			
	14:20	4	ジ	a	14.8	ファ	>f	16.7	ソ	g	北北東	ファ	f			fff	v127			
17小節	14:30	3	ミ	e	12.9	ド#	>c#	17	ラ#	a#	北	ミ	e			fff	v127			
	14:40	1.5	ソ	g	15	ミ	>e	17.1	シ	b	北	ミ	e			fff	v127			
	14:50	1	休符	r	15.4	ファ	>f	17.2	ド	>c	北北東	ファ	f			fff	v127			
	15:00	0	休符	r	12.7	ド#	>c#	17.5	レ#	>d#	北北東	ファ	f			fff	v127			
	15:10	2	ラ	a	14.6	ミ	>e	17.1	シ	b	北	ミ	e			fff	v127			
18小節	15:20	1.5	ソ	g	13.1	ド#	>c#	16.9	ラ	a	北	ミ	e			ff	v105			
	15:30	1.5	ソ	g	9.7	ソ#	g#	17	ラ#	a#	北	ミ	e			ff	v105			
	15:40	1	休符	r	9.2	ソ#	g#	17	ラ#	a#	北北西	レ#	>d#			f	v85			
	15:50	8	ラ	>a	5.6	シ	b	17.1	シ	b	西南西	ド	>c			f	v85			
	16:00	10.5	レ	>>b	5.9	ド#	c#	17.2	ド	>c	北	ミ	e			f	v85			
19小節	16:10	7.5	ソ#	>g#	7.7	ファ	f	17.5	レ#	>d#	北北西	レ#	>d#			f	v85		だんだん弱く、終息に向けて (mp)	
	16:20	2	ラ	a	5.5	シ	b	17.5	レ#	>d#	北	ミ	e			mf	v65			
	16:30	0	休符	r	5.9	ド#	c#	17.6	ミ	>e	北	ミ	e			mf	v65			
	16:40	0	休符	r	5	ラ	a	17.6	ミ	>e	北	ミ	e			mf	v65			
	16:50	0	休符	r	4	ソ	g	17.3	ド#	>c#	北北西	レ#	>d#			mf	v65			
20小節	17:00	0	休符	r	3.9	ソ	g	17.2	ド	>c	北	ミ	e			mf	v65			
	17:10	0	休符	r	3.2	休符	r	17.1	シ	b	北北東	ファ	f			p	v25			
	17:20	0	休符	r	4.1	ソ	g	16.7	ソ	g	北	ミ	e			p	v25			
	17:30	0	休符	r	3.7	ソ	g	16.4	ミ	e	東北東	ファ#	#			p	v25			
	17:40	0	休符	r	3.7	ソ	g	16.3	レ#	d#	北北東	ファ	f			p	v25			
21小節	17:50	0	休符	r	4.1	ソ	g	16	ド	c	北	ミ	e			p	v25			
	18:00	0	休符	r	3.3	休符	r	15.8	ラ#	a#	北北東	ファ	f			p	v25			
	18:10	0	休符	r	3.6	休符	r	15.4	休符	r	南東	ソ#	g#			p	v25			
	18:20	0	休符	r	4.3	ソ	g	15.1	休符	r	北東	ファ#	#			p	v25			
	18:30	0	休符	r	4.2	ソ	g	15	休符	r	北	ミ	e			p	v25			
22小節	18:40	0	休符	r	4.3	ソ	g	15.1	休符	r	北東	ファ#	#			p	v25			
	18:50	0	休符	r	4	ソ	g	15	休符	r	北北東	ファ	f			p	v25			
	19:00	0	休符	r	3	休符	r	15.1	休符	r	東北東	ファ#	#			p	v25			
	19:10	0	休符	r	3.3	休符	r	15.2	休符	r	北	ミ	e			p	v25			
	19:20	0	休符	r	3.8	休符	r	15.1	休符	r	西南西	ド	>c			p	v25			
23小節	19:30	0	休符	r	3.1	休符	r	15.1	休符	r	南南西	シ	b			p	v25			
	19:40	0	休符	r	3.3	休符	r	15.1	休符	r	北西	レ#	>d#			p	v25			
	19:50	0	休符	r	2.6	休符	r	15.2	休符	r	東北東	ファ#	#			p	v25			
	20:00	0	休符	r	3.7	休符	r	15.1	休符	r	北	ミ	e			p	v25			
	20:10	0	休符	r	3.1	休符	r	15.1	休符	r	北東	ファ#	#			pp	v15			
24小節	20:20	0	休符	r	3	休符	r	15.2	休符	r	北	ミ	e			pp	v15			
	20:30	0	休符	r	3.2	休符	r	15.2	休符	r	北北東	ファ	f			pp	v15			
	20:40	0	休符	r	3.3	休符	r	15.2	休符	r	北北東	ファ	f			pp	v15			
	20:50	0	休符	r	3	休符	r	15.2	休符	r	東	ソ	g			pp	v15			
	21:00	0	休符	r	2.8	休符	r	15.3	休符	r	東北東	ファ#	#			pp	v15			
25小節	21:10	0	休符	r	3.5	休符	r	15.5	ソ	<g	南西	ド	>c			pp	v15			
	21:20	0	休符	r	3.6	休符	r	15.6	ソ#	<g#	南	ラ#	a#			pp	v15			
	21:30	0	休符	r	3.4	休符	r	15.6	ソ#	<g#	北北西	レ#	>d#			pp	v15			
	21:40	0	休符	r	4.3	ソ	g	15.6	ソ#	<g#	南南西	シ	b			ppp	v5			
	21:50	0	休符	r	3.6	休符	r	15.7	ソ	<a	南南西	シ	b			ppp	v5			
26小節	22:00	0	休符	r	3.6	休符	r	15.7	ソ	<a	南南西	シ	b	</						

続いて、図3の処理3（変換した音程をMML: Music Macro Languageで記述）について説明する。数値データを音楽演奏として自動出力するツールには様々なものが出ているが、本研究では高校の情報教科書でも紹介されたことがあり、探究チームの中高生でも比較的簡単にプログラムを組むことができるテキスト音楽「サクラ」（参考文献[7]）を利用することとした。詳細は記載したURLを参照いただくが、MML記述方法の概略は下記の通りである。

- ・ ドレミファソラシドをcdefgabcで表記。休符はr。#やbはノートのすぐ後ろにつける。
- ・ >で1オクターブ上げる、<で1オクターブ下げる。n分音符指定は「l」の後ろに数字（14は4分音符）。
- ・ ボリューム（v0～v127）は休符=0,ppp=v5,pp=v15,P=v25,mp=v45,mf=v65,f=v85,ff=v105,fff=v127と設定し、警報や極値更新時にv127で暴風雨を表現できるよう工夫した。

図3の処理3（表7で変換した第1～第4ヴァイオリンの音程をMMLでプログラミング）の結果を図4に示す。以下、同じ手順で図3を繰り返すことで、気象庁データから自動で災害音楽を出力することができる。

```
Title{"Violin Quartet Storm Song by NARITA Junior String Orchestra"}

Part{"1st Violin"}
18 v5 rrrrrr rrrrrr v15 rrrrrr v25 rrr v45 rrr rrrrrr v65 rrrrrr
v65 rr<grrr grg>ee<a a>c# v85 gabe ggc#ebg v105 eggagc# ege<ar>c#
v105 >e>f<f#eg#g# >ccc<bga v127 b>aegrr a v105 gg v85 r>a>b <g# v65 <arrrr v25 rrrrrr
v25 rrrrrr rrrrrr v15 rrrrrr rrr v5 rrr rrrrrr rrrrrr

Part{"2nd Violin"}
18 v5 d#f#ffff f#d#ddc#d# v15 c#d#dd#f#d# v25 d#f#f v45 a#f#g gf#effc# v65 c#g#gaag#
v65 d#fd#fa#b ff#ag#g#g# bg# v85 a#>ccc# <b>c#c#c<b>d# v105 g#g#>cc#ed# c#c#c#c#<g#e
v105 d#f#a#bg#>c# d#f#g#af#d# v127 efc#efc# e v105 c#<g v85 #g#bc# f v65 bc#agg v25 rggggr
v25 rggggr rrrrrr v15 rrrrrr rrr v5 grr rrrrrr ggg#c#dc#

Part{"3rd Violin"}
18 v5 >ccc#c#c#c# c#ddc#dd# v15 d#eed#ff# v25 fff# v45 d#d#c# c#c#dc#c#c v65 cc#c#baa#
v65 >c#ddddd# dedd#ed dd v85 d#dd3e eeefee v105 c#c#f#g#g#g g#f#eff#g
v105 a#f#eed#c# <bagf#f#f# v127 fga#b>cd# <b v105 aa# v85 a#b>c d# v65 d#eec#c v25 >bged#ca#
v25 rrrrrr rrrrrr v15 rrrrrr <gg#g# v5 g#aa a#ba#a#>c#d# ef#f#gfe

Part{"4th Violin"}
18 v5 feeeeee eeeef v15 ffeefe v25 eff v45 ffe efefee v65 fff#fff#
v65 f#ffffff# ff#ffef ee v85 effe ff#eeef v105 eeeefe ffeffe
v105 eeeef# fffffe v127 efefef e v105 ee v85 >d#c#e >d# v65 <eee>d#<e v25 fef#fef
v25 g#f#ef#ff# e>c#b>d#<f#e v15 f#effgf# >c#a#>d# v5 <bbb a#>cccccc ccc#f#ef
```

図4 MMLを使って記述したソース

4. 結果と考察

気象庁がインターネット上で公開している過去の観測データと、これまでの探究活動の成果である理論や変換テーブルを活用し、MMLにより「防災音楽てんでんこ」を自動出力することができた。今後は全国各地で発生した気象災害について、音楽という表現手段で記憶を伝承していくことが可能になる。

一方で課題も認識している。これまでジュニアオーケストラで取り組んできた探究活動は、筆者ら人間による演奏家がヴァイオリンの奏法や表現、様々な技術などを駆使して、仲間と感情をこめてアンサンブルすることにより、災害の恐ろしさを伝承しようとしてきた。今回、MMLで出力した演奏は、当然のことながら変換した音程が機械的に流れるにすぎず、ここに弦楽器の演奏技術や表現技法を盛り込むことはできない。その結果、自動出力した音楽が「防災音楽てんでんこ」として価値があるものなのかどうか疑問が残る結果となった。だからこそ人間の演奏には価値があるのかもしれないという希望もある。今後、より高度なプログラミングを学ぶことで、弦楽器の奏法や表現についても自動出力できる可能性が見いだせるかもしれないと感じた。残りの高校生活では、この課題に向き合った探究活動を継続していきたいと思っている。

6. 参考文献

- [1]横内敬文（2021）、「ヴァイオリンソナタ第1番“雨の歌”の数学的分析から見る作曲者ブラームスの心象風景～気象観測値と楽譜の周波数変換値を用いた時系列データの類似度比較～」，第7回日本気象学会ジュニアセッション予稿集、<https://www.metsoc.jp/default/wp-content/uploads/2021/05/JS1-02.pdf>
- [2] 横内敬文・山本琉生・岡田琉・遠藤柚乃・横内敬子・村山皓大（2022）「アイヌ生活圏の地理的・気象的特性から導き出される防災音楽てんでんこ開発の試み」、2022年度第20回日本地質学会ジュニアセッション予稿集
- [3]横内敬文（2021）、「成田ジュニア・ストリングオーケストラの主題によるヴァイオリン四重奏 雨の歌～記録

的な豪雨被害をもたらした令和元年 10 月 25 日の千葉県の大雨・洪水の気象データから数学を使って作曲・演奏表現した僕たちの雨の歌～」，第 7 回日本気象学会ジュニアセッション予稿集、

<https://www.metsoc.jp/default/wp-content/uploads/2021/05/JS1-03.pdf>

[4]東京書籍（2022）「新編情報 I」

[5]気象庁 過去の気象観測データダウンロードサイト、<https://www.data.jma.go.jp/obd/stats/etrn/index.php>

[6]高橋恒介（2006）「気象データの音楽への変換」、22nd Fuzzy System Symposium 予稿集

[7]テキスト音楽「サクラ」ホームページ、<https://sakuramml.com/>