

グラフによる気象データ分析と音楽情報への変換記録 —地球環境激変の前に気象データによる事実確認のために—

Climate Data Graphical Analysis and Music Style Storage
For Checking the Present Climate by Data before Possible Drastic Change of the Environment

高橋 恒介
Kousuke TAKAHASHI

(平成19年9月25日受理)

要旨

地球温暖化で気象災害が増加しているとの報道が多い。その際に温暖化が温室効果ガスによるという解説が受け売りのである。5、6年前の温暖化の説明が繰り返されるだけである。5年前の環境測定データと今年で、どこが変化したかの解説が欠けている。気象データによる温暖化の実態の確認がもっと多くの人によって行われる必要を感じる。そこで、パソコンの使い方を教えるだけでなく、利用効果を伝える立場で、一般人でも気候変化の実態を確認できるようにパソコン(PC)による気象データの分析手法を提示する。

最近気象データが次々とネットで公開される。大量であるから、平均値を使ってグラフ分析が行なわれる。世界の平均気温上昇が100年間で 0.7°C 以上も上昇しているというような表現を耳にするが、静岡ではどの程度の温暖化が起きているか具体的に示された記事は少ない。地域ごとでの気象データ分析結果があれば、公開してほしいし、分析が行なわれるなら、平均気温と共に、最高気温や最低気温が、何年前から上昇したか？ 季節で言えば冬か夏か、月で言えば何月の気温上昇が大きいか、朝方と昼間のどちらの上昇が大きいか、示してほしいと思う。そして、最後に、地域間の気温上昇状況の違いも知りたい。そこで、静岡の気象データを例に、グラフによる分析結果を示してみる。他都市気温変化との比較もできるようにグラフ分析を行って、日本での温暖化の状況を考察した。

分析結果の概略を述べるなら、日平均気温、日最高気温や日最低気温の年平均値が1980年から2000年までにかかなり急速に上昇したといえる。今後も気温上昇が続けばどのような異常気象が出現するか予想がつかない。地球環境が破滅しそうだと予言する著書が多い。本当だとすれば、気象激変のドラマが始まる。ドラマの始まる前に通常気象特性を理解し、その後の温暖化と気象異常の因果関係を把握することが重要であると思われる。異常の発見を早めるには21世紀始めまでの通常気象を多くの人々が理解している必要がある。その一手法として、ネットから集めた気象データをファイル記憶装置の中に蓄えるだけでなく、音楽情報に変換して記録することを考えた。揺らぎの大きい気象データの中から本質的な変化をキャッチするにはコンピュータ解析だけに頼るより人間の直感が役立つように思うからである。実際に静岡など主要都市の気象データを音情報に変換して記録した。本学部のウェブページで気象データ音楽として聞けるように公開する予定である。

1. はじめに

人類の経済活動（主に、化石燃料の燃焼）で引き起こされる温室効果ガス（CO₂）の発生を抑制しないと地球環境が取り返しのつかない状況になるとIPCC（国連の気候変動に関する国際パネル）によって警告されてすでに5、6年たつ。図1と図2はその説明に使われる。

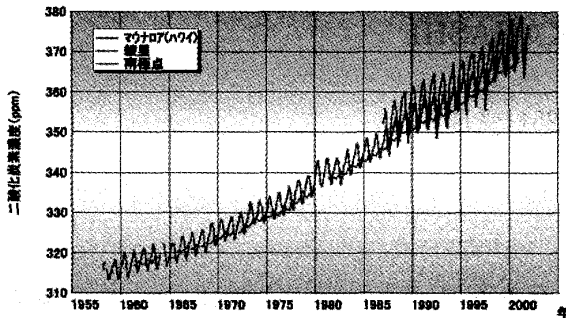


図1 2酸化炭素CO₂の濃度の推移

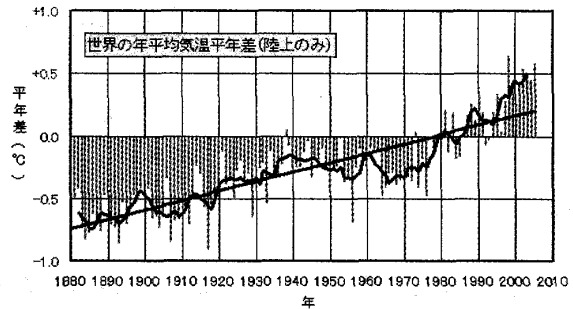


図2 北半球の大気平均気温

大気中のCO₂が増えることで地球が温暖化することにはまだ多くの人が疑問を抱いているのではない。そのため、雑誌などで、地球温暖化については2酸化炭素ガスの濃度が100年前の0.03% (300ppm) から0.04% (400ppm) が増え、世界平均気温が100年間で0.7℃上昇し、気温の上昇に伴い海水面が約17cmも高くなったという解説が強調されている^[1]。米国の科学雑誌では、海水温度の上昇で蒸発する水蒸気が増え、熱帯性低気圧の強さが増し、ハリケーンや台風が凶暴化する理由を解説している^[2]。検証は不十分であると思えるが、ラニーニャ（太平洋の暖海水の領域縮小）が起これるとハリケーンは抑制され、エルニーニョ（太平洋の暖海水の領域拡大）の時には強化されるという関係も解説されている。

最近話題のマイクル・クライトンの著書「恐怖の存在」^[3]では、多くの人が環境問題や気象変動について真実を知らないか知らされていないために、あるいは、誤解があるため、気象異常への恐怖を煽るメディアや環境テロリストにだまされることを指摘している。環境の研究予算は、利害を考えず、気象変化の研究をする科学者に与えたいと述べている。

今年話題のアル・ゴアの著作DVD「不都合な真実」^[4]は地球温暖化によっておこる不都合な出来事を紹介し、それを回避するために必要な政治的解決策と地球にやさしい生活術が説明されている。著者が地球温暖化を分かりやすく解説し、多くの人に感銘を与えたことで、2007年のノーベル賞を受けると決まったことは喜ばしい。しかし、大気に拡散するCO₂濃度上昇が原因で気温上昇があるとすれば、全世界で均質に上昇すべきであるという「恐怖の存在」の中で指摘された疑問点はまだ説明されていない^{[3][4]}。

本論文では、気象庁のウェブサイトから入手できる気象データをグラフ化することで静岡での気温変化と温暖化の関係を、昼と夜、夏と冬、20年単位に分けて分析し、近似直線の勾配比較で検討する。グラフ分析の後、気象データの揺らぎの大きさに触れ、揺らぎの中での本質的な気象変化や気象データ間の相関関係を統計処理（平均値計算）だけでなく、人間の直感を介して感じてもらえるように気象データを音楽情報に変換して記録する方法と、電子楽器による気象データ音楽の演奏結果をネットで視聴させる実験結果を紹介する。

2. ネットから入手できる気象データについて

気象庁のWebページ^[10]を開き、以下の手順で気象データを絞り込む。

- (1) 分類項目で気象統計情報を選ぶ。
- (2) 過去の気象データ検索を選ぶ。
- (3) 気象データ観測地名の選択を行う。
- (4) 過去から現在までの毎月の気象データを選ぶ。
- (5) 気象データの種類（平均気温、最高気温、降水量など）を選ぶ。
- (6) 表示された気象データのコピーをとる。
- (7) 表計算ソフトのワークシート上に貼り付ける。



図3 気象データの種類（場所、年月）を選択する画面

世界主要都市の気象データの測定開始はたかだか150年前程度であり、それ以前のデータは不確かである。日本国内主要都市の気象データの観測は100年以上前からとされるが、静岡のような地方都市の気象データは1940年（第2次世界大戦時）以降からである。

各人の住む場所の気象データは測定器があれば誰でも観測できるが、相当の根気がないと個人で計測し続けることは難しいであろう。続けたとしても、主要都市の気象データですら、個人の測定値と気象庁の気象データとは異なるかもしれない。測定場所の地理的状況が異なり、風の向きや強さが変わることで気温も異なるからである。測定者や測定方法による測定誤差もあるので、1、2℃の違いは絶えず起こりそうである。100年で0.7℃の気温上昇を立証するためには、一定の測定条件で測定されたデータが古くから揃っているということを重視せざるを得ないので、気象庁のウェブサイトの気象統計情報を選ぶ。藤枝市の気象は静岡市の気象によって代表されると考えた。静岡市の中でも山側と海側で異なるであろう。海拔の高さでも影響するであろう。

気象データは厳密に知ろうとすると、データ量が増えるばかりで、かえって実態が掴み難くなる。今月の気温は平年に比べて高かったか、低かったかを知ろうとしても、データに揺らぎが大きく、概略値を正確に把握しにくい。ネットで公開された気象統計情報を見て、どの変化が異常であり、どの変化が通常であるかを察知することは、長年、気象デー

タを監視していないと分からない。温暖化の原因がCO₂濃度の上昇によるかどうかの因果関係を立証することも容易ではない。

3. 気象データのグラフ化

表計算ソフトに取り込まれた気象データは表1のようになる。これは地域ごとの気象データを旬に分けて記録したものであり、静岡での一年間の気温平年値変化がわかる。グラフ化すると図4のようになる。

表1 静岡の平年の気象データ（降水量、気温、風速、日照時間などを含む）

要素	海面気圧	降水量	平均気温	最高気温	最低気温	相対湿度	平均風速	日照時間	
1	上旬	1015.8	21.8	7.1	12	2.2	59	2.2	62.1
	中旬	1015.2	25.5	6.6	11.3	1.7	56	2.3	61.9
	下旬	1015.4	24.3	6.2	11.1	1	54	2.3	74.4
2	上旬	1014.1	25	6.3	11.2	1.2	53	2.4	67.8
	中旬	1015.3	41.5	7.3	12	2.4	58	2.4	59.5
	下旬	1014.8	35.7	7.5	12	2.8	57	2.6	51
3	上旬	1014.7	43.6	8.7	13.5	3.8	58	2.3	61.4
	中旬	1015	59.7	9.8	14.2	5.2	62	2.3	56.2
	下旬	1015.3	109.1	11.3	15.6	6.9	65	2.5	56.8
4	上旬	1014.9	96.7	13.1	17.5	8.7	66	2.4	54.7
	中旬	1014.2	83.4	14.8	19.2	10.4	66	2.5	58.5
	下旬	1013.9	57	16.4	20.9	12	68	2.4	60.2
5	上旬	1013.2	78.8	17.6	21.8	13.2	70	2.3	57.9
	中旬	1012	81.1	18.6	23	14.5	70	2.3	59.8
	下旬	1010.9	61.7	19.6	23.9	15.5	70	2.2	68.1
6	上旬	1010.5	82.4	21.1	25	17.5	74	2.1	52.6
	中旬	1009.2	82.8	21.9	25.4	18.7	77	2.2	42.4
	下旬	1007.9	118.1	22.9	26.3	20	79	2.3	32.8
7	上旬	1008.5	112.4	24.3	28	21.3	78	2.2	43
	中旬	1008.2	101.2	25.5	29.2	22.6	79	2.2	44.1
	下旬	1010.3	66.1	26.5	30.2	23.3	77	2.2	66.9
8	上旬	1009.4	69.2	27	30.8	23.7	75	2.4	63.9
	中旬	1010	77.8	26.9	30.8	23.7	76	2.2	62.9
	下旬	1010.2	98.4	26.5	30.4	23.2	76	2.2	65.1
9	上旬	1010.8	85	25.5	29.3	22.2	75	2.1	54.5
	中旬	1011.5	120.5	24	27.8	20.6	74	2.2	45.8
	下旬	1014.3	98.8	21.9	25.6	18.6	75	2.2	40.6

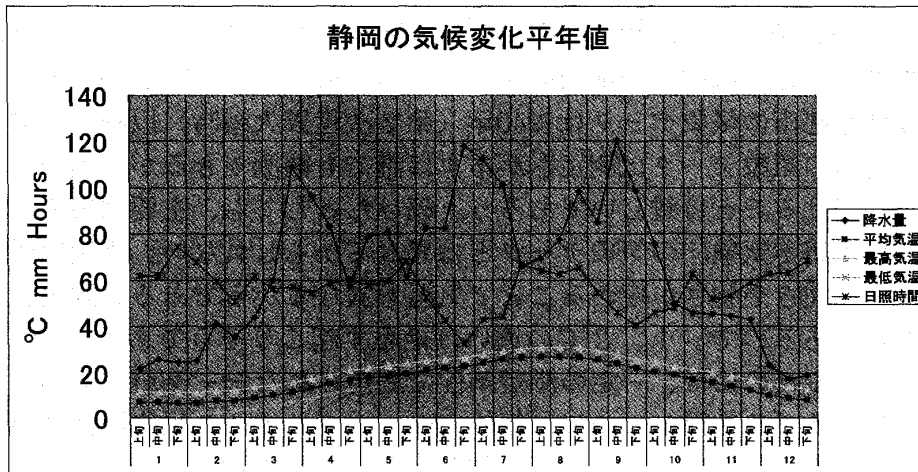


図4 静岡での気温変化、降水量、日照時間を示す旬毎の平年値気象変化

図4によって気温が冬に低く、夏に高くなる変化や、日照時間 (h) と降水量 (mm) が対照的な変化を確認できる。気温上昇の顕著であるはずの6月に日照時間が減って雨量が増えて気温上昇が緩和されることがわかる。毎年の気温変化について言えば、日々の気温

変化は平年値から大きく揺れ動く。一例として、静岡の2006年の気温変化と平年値の気温変化をグラフで示すと、図5のようになる。

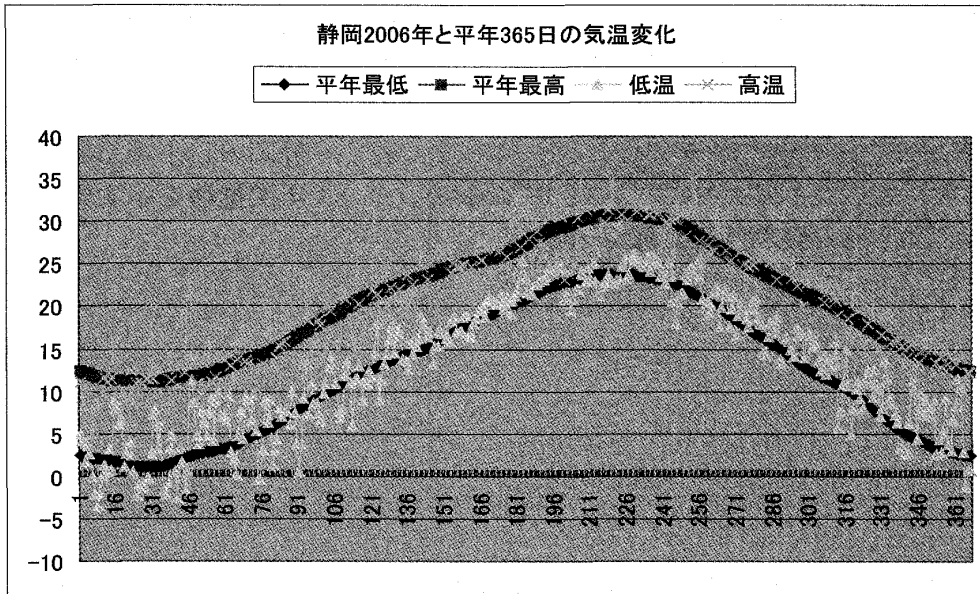


図5 静岡での2006年と平年の最高気温と最低気温の変化

日本国内での他の地域の気象変化も静岡と同じようなグラフで表示することができる。6主要都市の平均気温平年値を比較のためにグラフにまとめると、図6のグラフが得られた。この図から、日本本土内での平均気温変化の違いはかなり小さいとわかる。沖縄と札幌など本土から離れた都市では気温変化に大きな違いがあるが、本土内での地域による平均気温差は5℃以下に収まっている。これらの変化(過去60年以上の気象データを平均化してグラフ化したもの)は体験した季節変化として住民の頭の中に記憶されているのであろう。

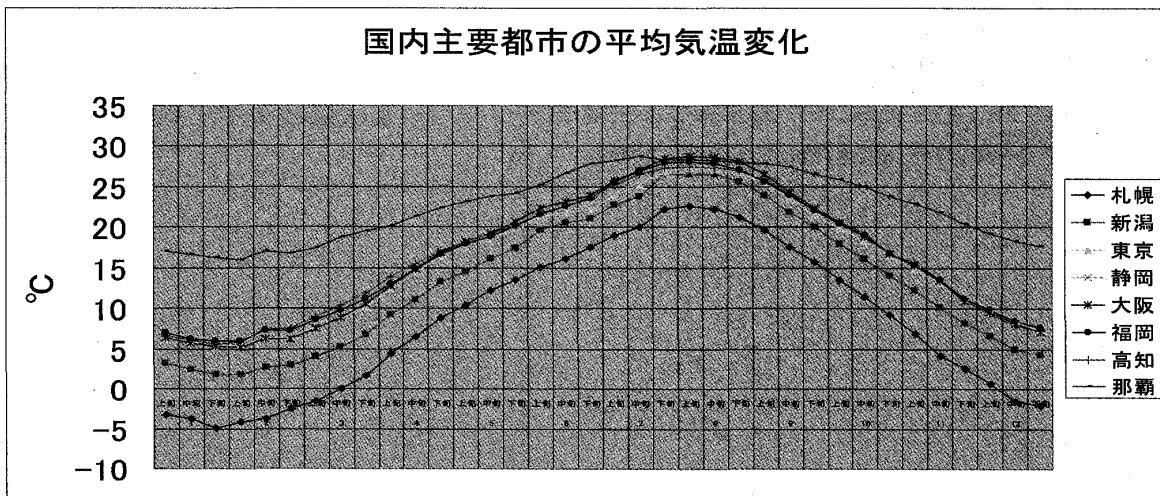


図6 国内8都市の1年間の平均気温変化を比較できるようにグラフ化したもの

4. 気温の年次推移のグラフ

気象データは気温に関しても、日平均気温、日最低気温、日最高気温に分けられる。表2は日平均気温の、表3は日最高気温の、表4は日最低気温の月平均値を示す。データサイズが大きいので、それぞれ先頭部分だけを示す。右端に年平均の値が示されている。

静岡 日平均気温の月平均値(°C)

年	1月	2月	3月	4月	5月	6月	7月	8月	9月	10月	11月	12月	年平均
1940	4.4	5.0	8.6	13.3	17.3	21.5	26.7	25.0	22.9	18.4	13.8	8.4	15.4
1941	6.8	6.5	9.9	13.3	18.1	21.3	25.0	25.7	21.7	18.0	13.6	9.4	15.8
1942	4.8	5.2	12.0	13.7	17.6	22.0	27.0	26.8	24.7	17.1	11.1	6.8	15.7
1943	3.5	4.9	8.1	12.0	18.2	21.8	24.9	26.3	24.6	17.8	12.2	8.3	15.2
1944	5.0	4.8	7.2	11.8	18.0	21.6	25.5	26.2	22.8	17.3	12.5	6.2	14.9
1945	3.1	3.9	8.4	13.6	16.4	21.3	22.5	26.0	23.1	18.2	12.6	6.1	14.6
1946	5.1	6.6	8.2	14.5	17.5	22.6	26.1	26.3	23.3	18.5	14.2	6.6	15.8
1947	5.8	3.6	8.0	12.7	16.9	20.3	25.5	26.8	23.3	16.8	11.8	6.2	14.8
1948	5.9	6.6	8.2	14.2	17.9	21.4	26.8	25.4	23.7	18.7	13.7	10.2	16.0
1949	6.2	8.0	7.4	12.3	17.3	19.9	24.9	26.0	22.5	17.2	12.6	8.4	15.2
1950	6.8	7.2	8.9	14.7	19.3	22.0	25.5	26.2	23.3	16.7	13.2	7.0	15.9
1951	5.3	6.8	10.1	13.6	18.0	20.9	24.4	26.3	21.6	18.7	12.5	8.3	15.5
1952	6.2	5.5	9.0	14.0	17.6	21.6	24.3	26.7	23.8	17.8	14.4	7.6	15.7
1953	5.3	6.2	10.8	12.7	17.7	21.6	24.8	25.6	23.7	18.2	12.0	9.5	15.7
1954	7.3	7.8	9.5	15.5	17.9	19.6	23.0	26.8	24.2	16.6	13.2	8.7	15.8
1955	5.7	7.6	10.8	14.5	18.9	22.5	26.8	26.1	23.0	18.6	12.1	5.2	16.2

表2 静岡の日平均気温月平均値の年次推移を示す気象データ

静岡 日最高気温の月平均値(°C)

年	1月	2月	3月	4月	5月	6月	7月	8月	9月	10月	11月	12月	年平均
1940	10.4	10.2	14.5	18.4	22.8	25.9	31.0	29.2	27.3	23.2	19.2	14.8	20.6
1941	12.8	11.9	15.2	18.8	22.6	25.1	29.1	30.1	25.7	23.6	16.3	14.8	20.7
1942	10.6	10.1	17.1	19.3	22.4	26.1	31.1	31.5	29.7	23.0	17.3	12.9	20.9
1943	10.1	11.1	13.6	17.2	23.4	26.0	28.8	31.0	29.6	22.9	18.5	14.7	20.6
1944	11.1	10.9	13.0	16.9	22.6	26.3	30.2	30.8	27.7	22.0	17.7	11.8	20.1
1945	8.9	9.2	13.8	19.4	21.4	25.6	26.5	30.2	27.3	23.2	19.5	12.6	19.8
1946	11.8	12.9	13.3	20.3	22.4	27.4	30.6	31.8	28.0	23.7	19.3	12.2	21.1
1947	11.0	10.3	14.2	18.8	22.0	24.7	29.9	31.9	28.2	22.1	17.9	11.9	20.2
1948	12.4	12.7	12.9	19.4	22.8	25.4	30.3	30.1	28.5	23.7	18.6	15.6	21.0
1949	12.8	12.9	12.8	18.1	22.6	23.7	29.3	30.4	27.3	21.4	17.4	13.6	20.2
1950	12.2	12.1	14.3	19.8	23.9	25.7	29.9	30.7	28.4	21.6	17.6	12.4	20.7
1951	11.2	12.5	15.8	18.8	23.4	25.7	27.9	30.9	26.0	23.7	18.1	14.5	20.7
1952	11.5	10.1	14.0	18.7	22.2	25.9	28.2	31.5	28.3	22.7	19.2	13.6	20.5
1953	11.3	11.8	16.0	18.5	22.3	25.3	28.4	29.5	27.8	23.0	17.9	14.9	20.6
1954	12.0	13.9	14.8	20.3	22.1	22.9	26.5	31.2	28.3	21.0	18.5	14.1	20.5
1955	11.3	13.5	15.4	19.2	22.6	26.7	30.7	30.4	27.2	23.0	18.3	15.6	21.2

表3 静岡の日最高気温月平均値の年次推移を示す気象データ

静岡 日最低気温の月平均値(°C)

年	1月	2月	3月	4月	5月	6月	7月	8月	9月	10月	11月	12月	年平均
1940	-1.5	-0.1	3.3	8.5	12.3	17.8	23.4	21.9	19.6	14.5	9.3	2.8	11.0
1941	1.2	1.6	5.1	7.9	13.9	18.2	22.1	22.9	18.5	13.6	9.6	4.4	11.6
1942	-0.5	0.6	7.2	8.5	13.1	18.2	23.6	23.2	20.8	12.2	5.6	0.9	11.1
1943	-2.5	-0.7	3.4	6.8	13.8	18.2	21.6	22.5	20.9	13.6	6.8	2.6	10.6
1944	-0.4	-0.7	2.3	7.5	14.2	18.1	22.3	23.3	19.4	13.8	8.5	1.2	10.8
1945	-1.8	-0.6	3.6	8.9	12.0	18.1	19.5	23.3	20.0	14.5	7.2	1.0	10.5
1946	-0.4	1.0	4.2	10.0	13.8	19.1	23.2	22.6	20.0	14.6	10.4	2.2	11.7
1947	1.7	-1.9	3.0	7.6	13.0	17.0	22.5	23.7	20.2	12.9	6.6	1.3	10.6
1948	0.6	1.6	4.5	10.0	13.8	18.2	23.0	22.4	20.7	15.4	9.2	5.1	12.0
1949	0.6	3.1	2.3	7.0	12.8	17.2	21.9	23.0	19.1	13.9	8.4	3.7	11.1
1950	1.6	2.6	3.9	9.9	15.1	18.9	22.0	22.7	19.5	12.6	9.0	1.9	11.6
1951	-0.8	1.6	4.9	9.3	13.7	17.1	22.0	23.4	18.4	15.1	7.8	3.1	11.3
1952	1.1	1.5	4.9	9.8	13.6	18.2	21.6	23.1	20.8	14.1	10.2	2.9	11.8
1953	0.1	0.9	6.2	7.1	13.6	18.6	21.9	22.6	20.7	14.1	7.3	4.7	11.5
1954	3.1	2.2	4.7	11.2	14.2	16.9	20.5	23.6	21.3	13.5	8.6	4.5	12.0
1955	0.5	2.2	7.0	10.4	14.0	19.4	23.8	23.0	19.9	15.2	7.3	4.1	12.2

表4 静岡の日最低気温月平均値の年次推移を示す気象データ

表2、表3、表4の気温データ年平均値をグラフ化すると図7、図8、図9が得られる。

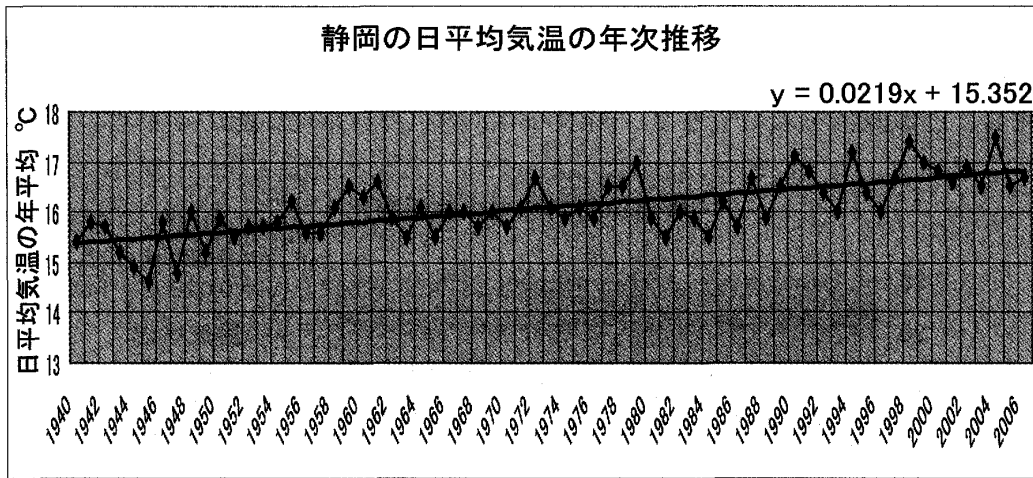


図7 静岡での日平均気温の年平均値の変化と近似直線

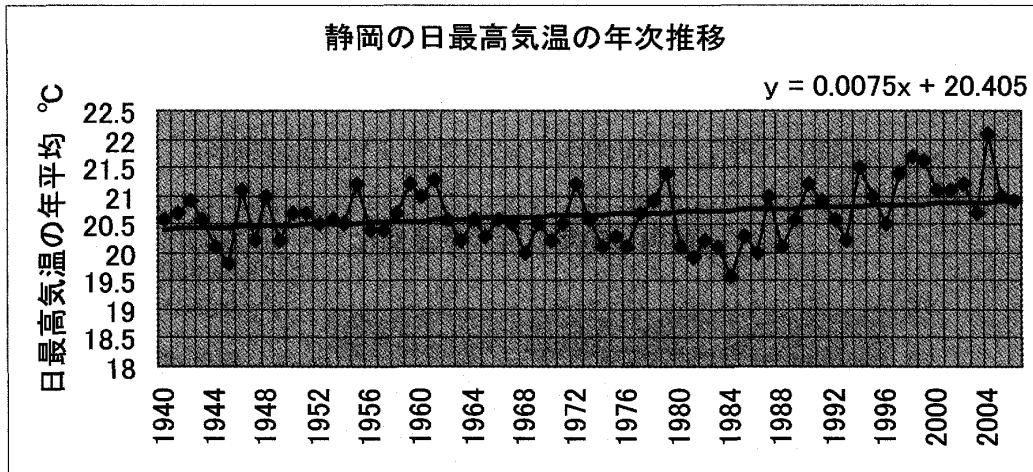


図8 静岡日最高気温の年平均値の変化と近似直線

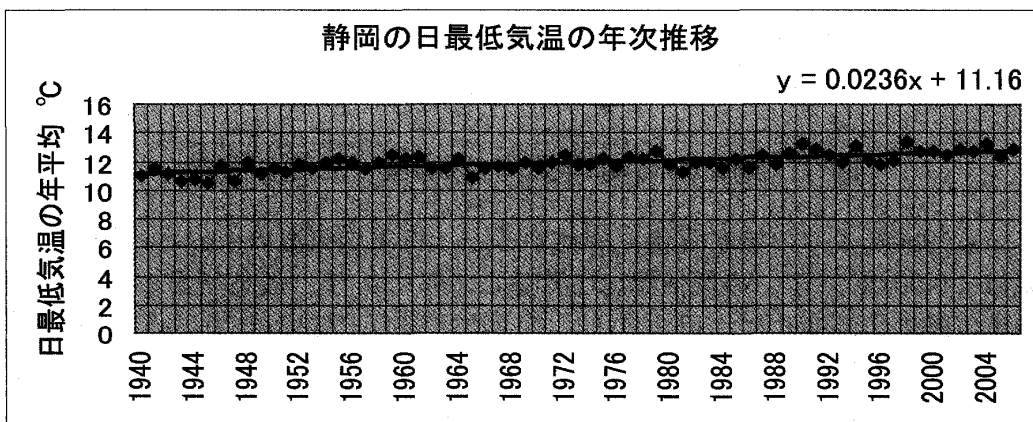


図9 静岡日最低平均気温の年平均値の変化と近似直線

図7、図8、図9で静岡の1940年以降の気温変化と近似直線の近似式を比較すると、日平均気温の上昇率は $0.02^{\circ}\text{C}/\text{年}$ 、最高気温は $0.0075^{\circ}\text{C}/\text{年}$ 、最低気温は $0.03^{\circ}\text{C}/\text{年}$ であり、最低気温の上昇率が高いと分かる。細かく見ると、最高気温が1980年までは減少し、1980年以降に高まっていると分かる。そこで、気温変化のグラフを1980年以前と以降に分けてグラフ化し、近似直線を求めてみた。図中の中間気温は日平均気温の年平均の略称である。

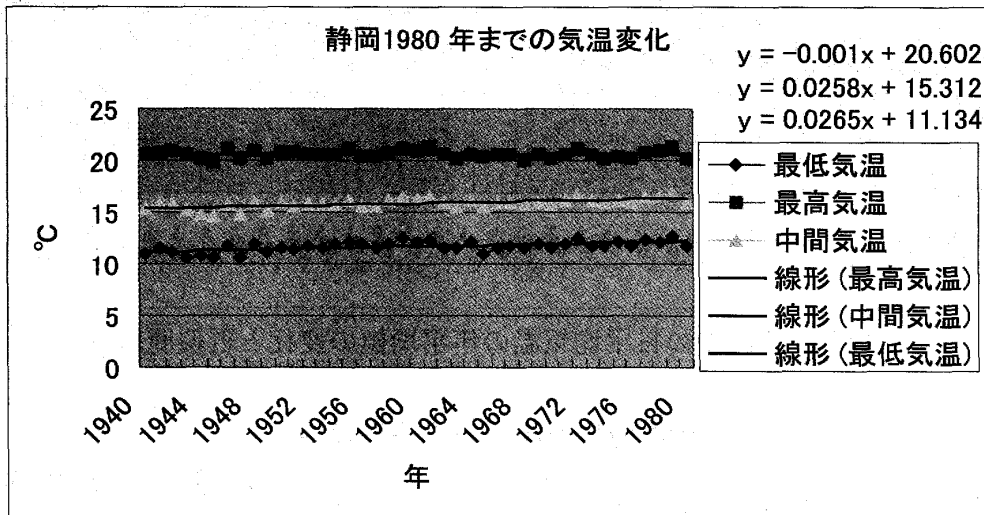


図10 静岡での1980年以前の気温変化と近似直線

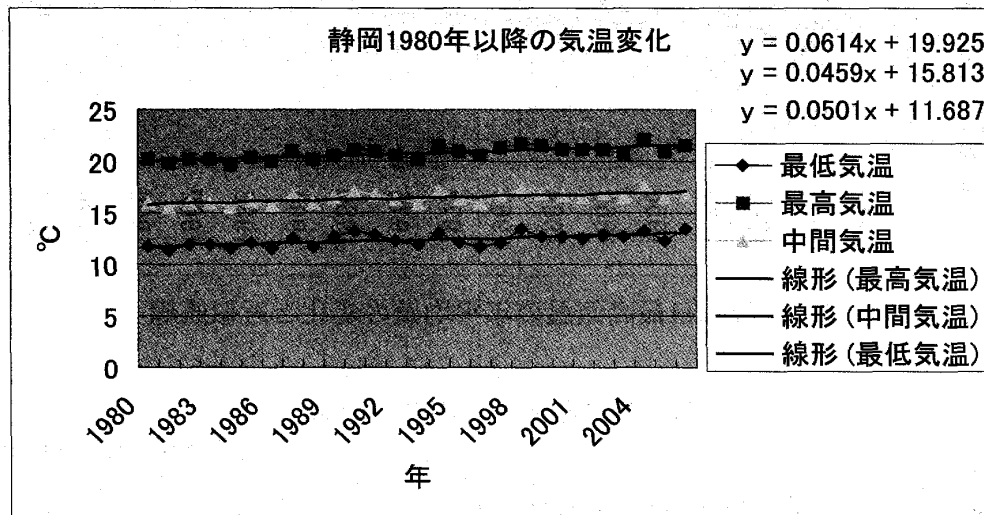


図11 静岡での1980年以降の気温変化と近似直線

1940年から1980年までの気温変化に注目すると、日平均気温の上昇率は $0.0258^{\circ}\text{C}/\text{年}$ 、最高気温は $-0.001^{\circ}\text{C}/\text{年}$ 、最低気温は $0.0265^{\circ}\text{C}/\text{年}$ であり、最高気温の上昇がない。一方、1980年以降の気温変化に注目すると、日平均気温の上昇率は $0.0459^{\circ}\text{C}/\text{年}$ 、最高気温は $0.0614^{\circ}\text{C}/\text{年}$ 、最低気温は $0.05013^{\circ}\text{C}/\text{年}$ であり、最高気温の上昇率が極めて高いと分かる。観測期間または直線近似の区間を小分けにすると、もっと正確な気温変化がわかるように思われる。しかし、気温上昇が何月に大きかったかはっきりしない。12ヶ月の気温を年平均の形で表現しているからである。

5. 気温の年次推移の月別グラフ分析

表2、表3、表4を用いて月別気温の年次推移をグラフ化すると、図12のようになる。過去66年間の気温変化のグラフは、夏に水平であるが、冬、春にはやや右上がりになっている。特に、最低気温のグラフの右上がりが大きく見える。

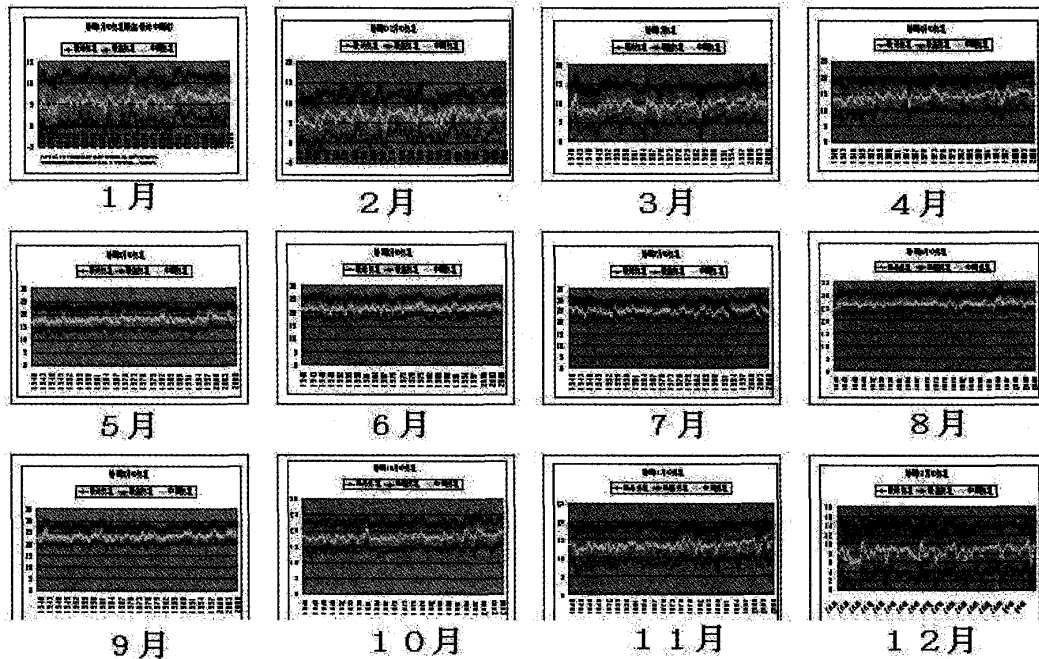


図12 静岡1940年以降の各月最高・平均・最低気温変化

図12のグラフを1980年以前（昔）と1980年以降（今）に分け、最高気温と平均（中間）気温と最低気温の変化グラフの近似直線勾配を表にまとめると、表5のようになった。ここでは、日平均気温の各月の平均値を中間と略記している。平均と書くと最高と最低の平均値と誤解されそうに感じたからである。1980年以前と以後の上昇率の違いを比較するグラフを描いてみると図13、図14、図15のようになる。

表5 1980年以前と以降の各月の最高・中間・最低気温の上昇率（℃/年）

月	昔最高気温	今最高気温	昔中間気温	今中間気温	昔最低気温	今最低気温
1月	0.0017	0.0346	0.035	0.0362	0.0426	0.0499
2月	0.0166	0.0904	0.0426	0.0661	0.0472	0.0534
3月	-0.0031	0.0725	0.0211	0.0386	0.0147	0.0158
4月	0.0036	0.0663	0.0425	0.0447	0.064	0.0269
5月	0.013	0.0148	0.0322	0.0281	0.0271	0.0451
6月	0.0045	0.0544	0.0231	0.0418	0.0292	0.0398
7月	0.0208	0.072	-0.0001	0.052	0.0013	0.0453
8月	0.0077	0.0496	0.0166	0.0358	0.0137	0.0365
9月	-0.0151	0.0739	0.0118	0.0584	0.0078	0.048
10月	0.0046	0.0667	0.0232	0.0533	0.01776	0.0533
11月	0.0039	0.0472	0.0306	0.0454	0.0287	0.0529
12月	0.0054	0.0358	0.0232	0.0376	0.024	0.0584

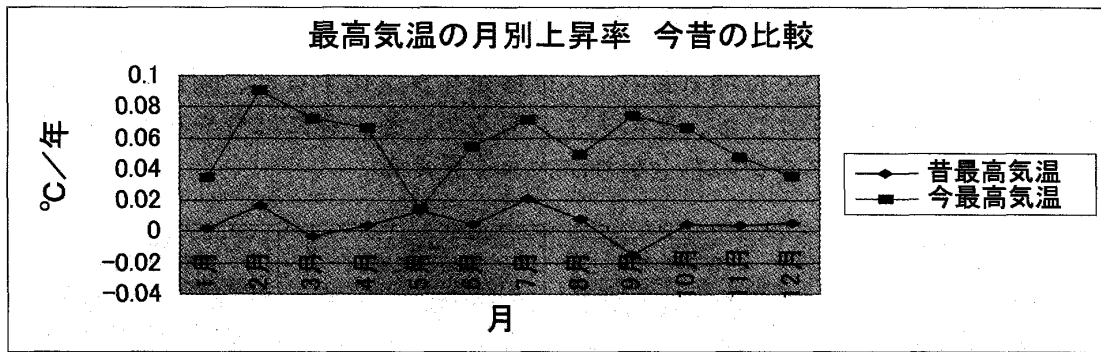


図13 1980年以前と以降での日最高気温の月別上昇率 (°C/年)

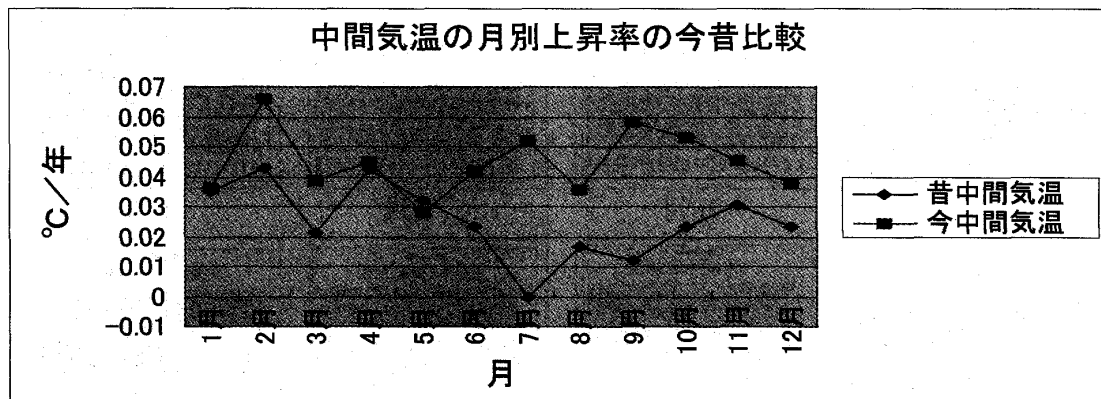


図14 1980年以前と以降での中間（日平均）気温の月別上昇率

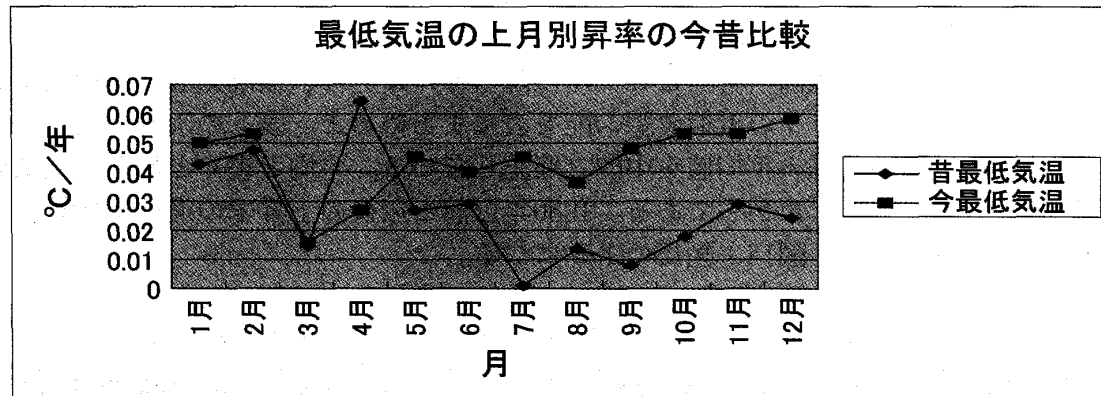


図15 1980年以前と以降での日最低気温の月別上昇率

静岡での気温上昇は1980年以降で顕著になっている。日最高気温（昼間）と日最低気温（夜間）を比べると、日最低気温の上昇率が高い。日最高気温は1980年までは小さく、1980年以降に上昇が大きくなっている。CO₂の温室効果で朝方の最低気温が上昇し、最高気温が積み上げられたと推察される。最低気温の上昇率を月別に分析すると、10月から2月にかけて高いと分かる。冬の期間に樹木での光合成が低下し、CO₂吸収が減り、CO₂濃度が高くなっているからと推察される。最高気温の上昇率は1980年以降ではほとんど月で高い。最低気温の上昇の上に最高気温が積み上げがあるからであろう。

6. 最低気温の上昇がCO₂による温室効果による理由

一日の気温変化の過去と現在を比較したら温室効果の影響が分かるかと考え、一例として9月11日の24時間の気温変化を図16のようにグラフ化した。1980年台、1990年台と2000年台で1日の気温変化を比較すると、1980年台では朝の1時から8時までの冷え込みが年と共に減少し、1990年台には夜中1時の気温低下が小さくなっている。2000年台にも朝方の冷え込みがなくなっている。CO₂の温室効果による最低気温上昇は1990年台から通常になっていると推察される。

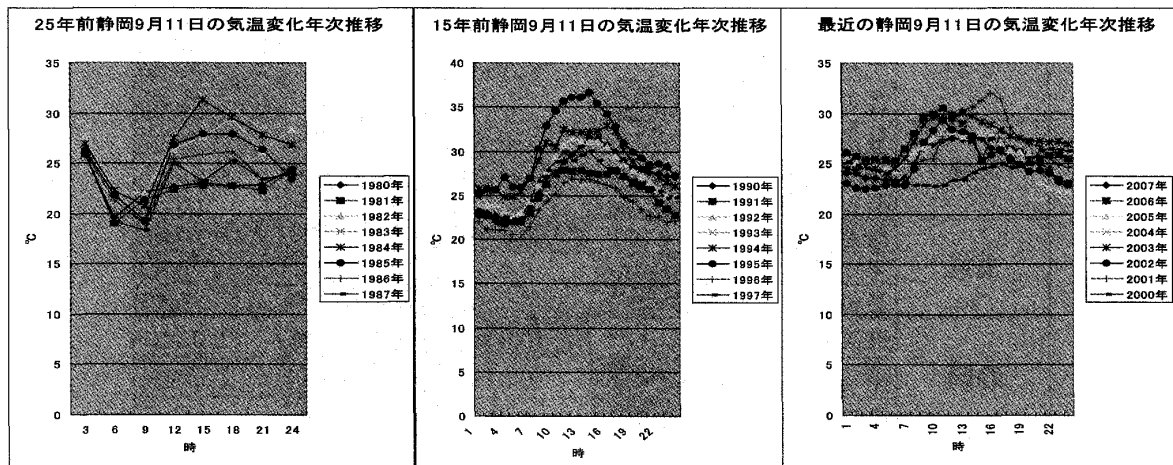


図16 1980年台、1990年台と2000年台の9月11日の気温変化

7. 静岡以外の都市における気温変化

札幌、新潟、東京、高知、那覇市での気温データを静岡の気温データと比較するために、日平均気温の年平均値をグラフ化した。図17は静岡以外5都市での平均気温と近似直線を示す。どの都市でも0.02°C/年の上昇率が認められる。

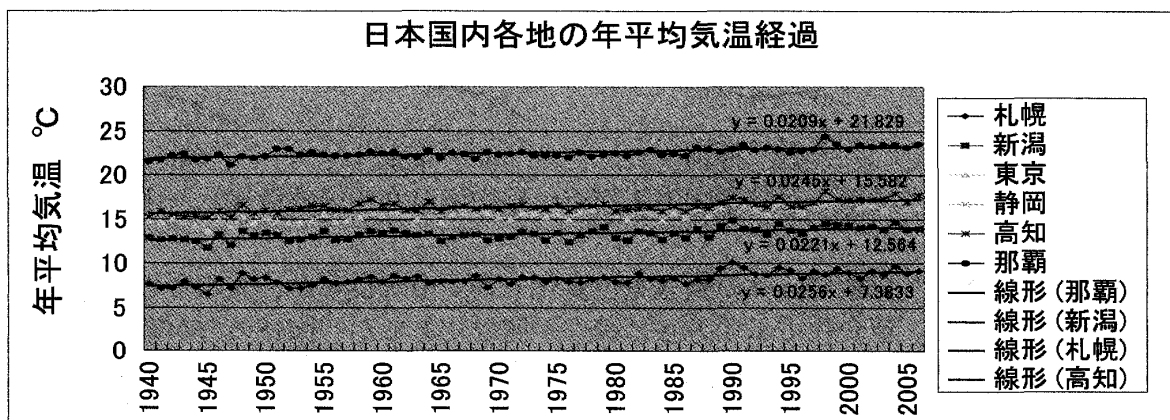


図17 静岡以外の5都市での日平均気温の年平均値の推移

図17での気温変化のグラフを次の4区間に分けて、近似直線の勾配を計算し、表6を得た。

- I : 1940年～1960年
- II : 1960年～1980年
- III : 1980年～2000年
- IV : 2000年～2006年

表6 4都市での最高気温・平均気温・最低気温の区間ごと近似直線の勾配（気温上昇率）

都市名	近似区間	1940-1960	1960-1980	1980-2000	2000-2006
札幌	最高気温	0.034	0.0479	0.0484	0.0427
	平均気温	0.0378	-0.0038	0.0596	0.075
	最低気温	0.079	0.011	0.0562	0.075
沖縄	最高気温	0.0067	-0.0123	0.0465	0.05
	平均気温	0.036	-0.0029	0.0506	0.0393
	最低気温	0.0654	0.0022	0.0527	0.025
東京	最高気温	0.022	-0.0149	0.083	-0.075
	平均気温	0.0417	0.0283	0.0774	-0.0536
	最低気温	0.0769	0.0547	0.0786	-0.025
静岡	最高気温	0.0164	-0.0058	0.0782	0.0036
	平均気温	0.0466	0.0197	0.063	0.0036
	最低気温	0.069	0.0206	0.0555	0.025

概略的な気温上昇率の変化を察知しやすいように、データに表8のような色付けを行った。色の意味は以下の変換表に従う。モノクロ印刷でも分かるように数値を重ねている。

表7 気温上昇率の色分け変換表の一例

気温上昇率の色分けの定義				単位℃/年
0.06以上	0.04-0.06	0.02-0.04	0-0.02	0.0以下

札幌、沖縄、東京、静岡での気温上昇の特徴を矢印→で示すと、下図のようになる。

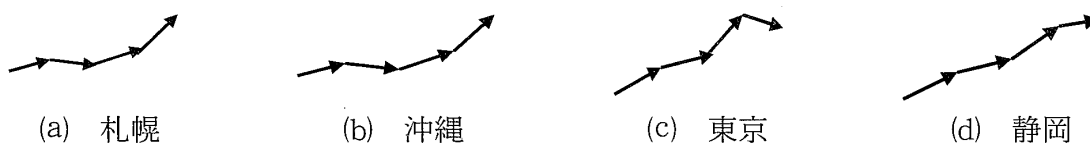


図18 矢印の傾きを用いた日本国内4都市の平均気温変化の特徴表示（手書き）

このような概略的な気象データの動きを色変化で表すのが良いか、矢印で表すのが良いか検討を行ってみた。色変化で示す方法は操作が簡単であるが、図18の方が動きを理解しやすい。各都市の気温上昇の傾向を比較すると、大都会の東京がやや外れている。大都会の気温上昇は温室効果ガスの増加によるだけではなく、コンクリートの蓄熱効果やヒートアイランド効果によって高目になる。静岡は東京と沖縄の中間の気温変化を示していると言える。

8. 気象データ揺らぎの扱い方

図19は静岡2007年1月の日ごとの最高気温と最低気温の変化を示している。集計結果としては、2007年1月の最高気温の月平均値は、13℃で、平均気温の月平均値は8℃で、最低気温の月平均値は4℃であると示される。過去の月平均値の平均化によって平年値が計算される。平年値と日々の気温を比較すると、図20のようになる。大きな違いが出る。

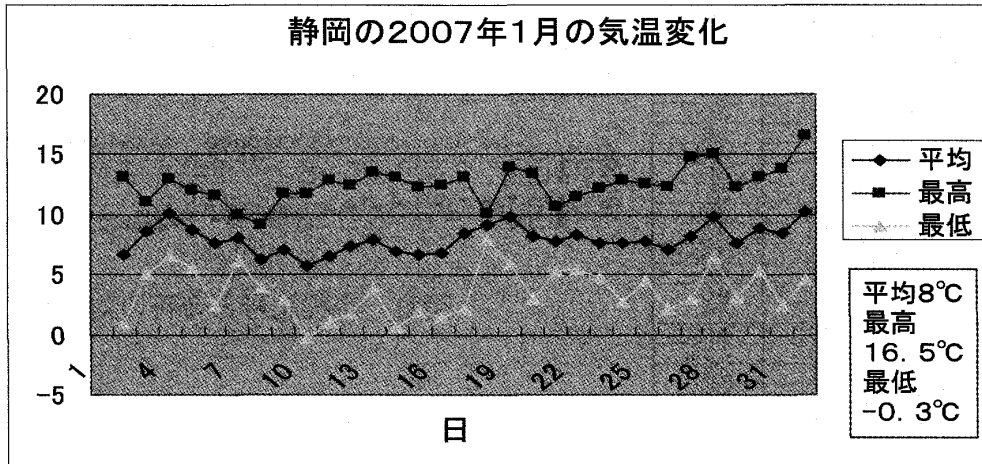


図19 静岡2007年1月の毎日の気温変化

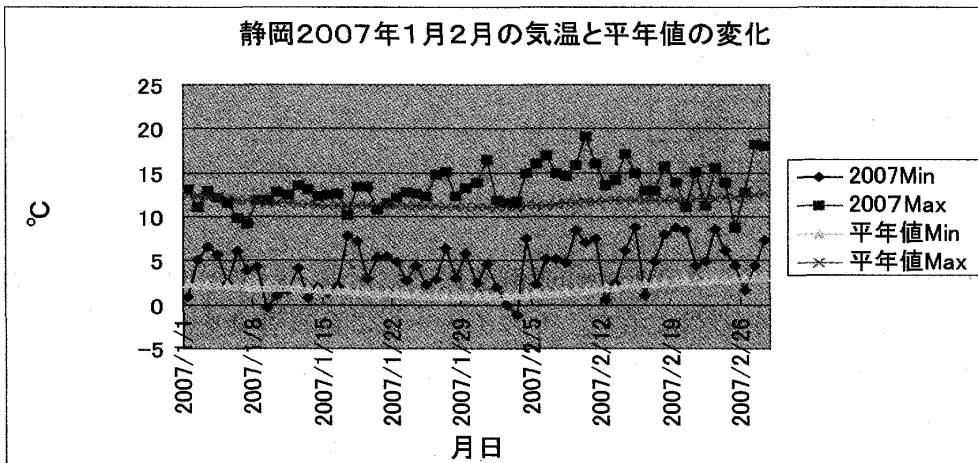


図20 2007年1・2月の日々の気温と平年値との差の推移

気温データの変化を把握するとき、これまではデータの平均化とグラフ化と直線近似を利用した。しかし、気象データは平均気温変化の2倍以上の幅で変動することがある。異常気象が多くなったかどうかなど、気温変化の本質的な傾向を把握する上でこれまでの分析が有効であるかを考えると、大きな不安に襲われる。長期間の気象データをグラフ化するときには、グラフが見にくくなるために平均値を用いてしまう。そのときに多くの情報を失ってしまう。人間の感覚を利用して平均値を感じさせる方法として、データを音に変換して記録することを考えた。演奏速度を変えると全体傾向が早く理解されそうである。

9. 気象データの音楽情報への変換・記録の手順

気象データの中で、一例として、最高気温、平均気温、最低気温の年次推移をグラフ化する代わりに、まずは、12音音階の音に変換して見ることを試みた。表8は気温と音程との変換規則であり、音程の記号と音符の関係を図21で示す。気温1℃が半音に対応する。

表8 気温-音程変換表

気温℃	音程	気温℃	音程
-36	0A	0	3A
-35	0B	1	3B
-34	0H	2	3H
-33	0C	3	3C
-32	0Cis	4	3Cis
-31	0D	5	3D
-30	0Dis	6	3Dis
-29	0E	7	3E
-28	0F	8	3F
-27	0Fis	9	3Fis
-26	0G	10	3G
-25	0Gis	11	3Gis
-24	1A	12	4A
-23	1B	13	4B
-22	1H	14	4H
-21	1C	15	4C
-20	1Cis	16	4Cis
-19	1D	17	4D
-18	1Dis	18	4Dis
-17	1E	19	4E
-16	1F	20	4F
-15	1Fis	21	4Fis
-14	1G	22	4G
-13	1Gis	23	4Gis
-12	2A	24	5A
-11	2B	25	5B
-10	2H	26	5H
-9	2C	27	5C
-8	2Cis	28	5Cis
-7	2D	29	5D
-6	2Dis	30	5Dis
-5	2E	31	5E
-4	2F	32	5F
-3	2Fis	33	5Fis
-2	2G	34	5G
-1	2Gis	35	5Gis
0	3A	36	6A

図21 音程記号と音符の対応

この変換表による気象データ音楽の作成例を以下に示す。はじめに、1975年以降32年間の気温の年次推移グラフを図22に示す。そのイメージに合う音楽を気温データの音程への変換を行うことで求めると、図23Aと図23Bの楽譜が得られる。

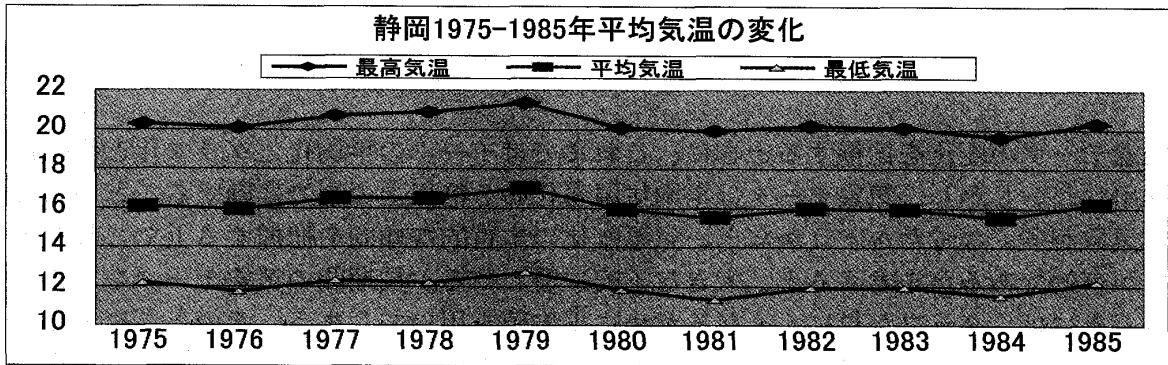


図22 1975年以降気温変化の年次推移データのグラフ

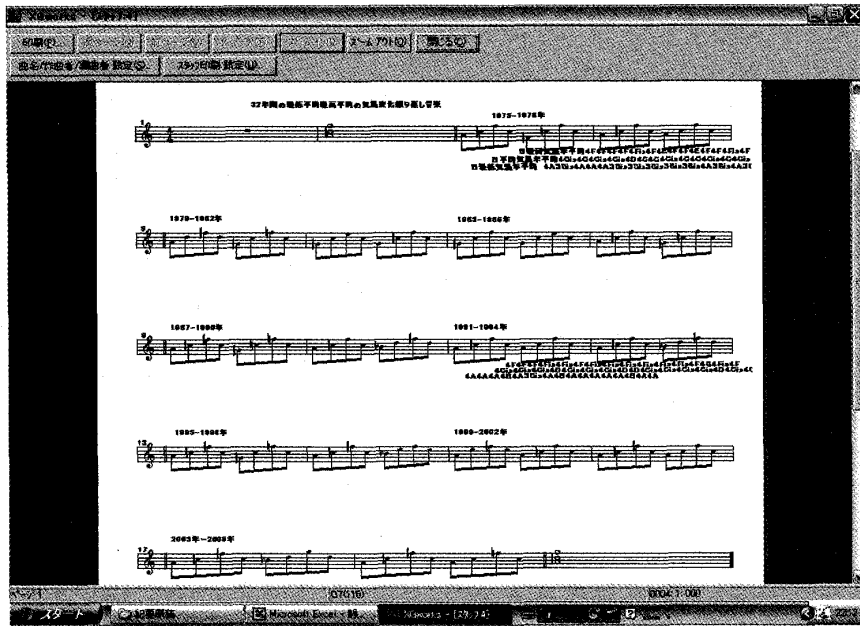


図23A 図22の気温データのグラフに対応する気象データ音楽の楽譜例

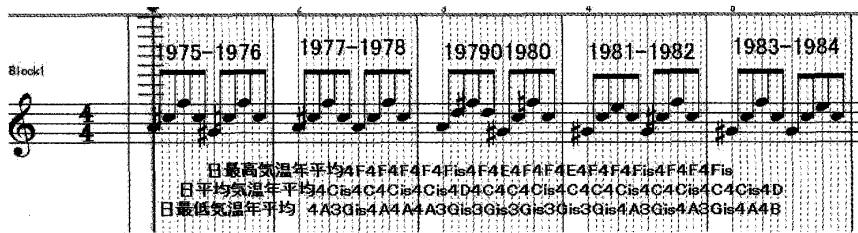


図23B 図23Aの先頭部分を拡大したもの

1年間の気温変化を音楽へ変換する例を示すために、1946年と2006年の気温変化を比較する気温データのグラフを図24に示す。これを音程に変換したものは図25Aになる。

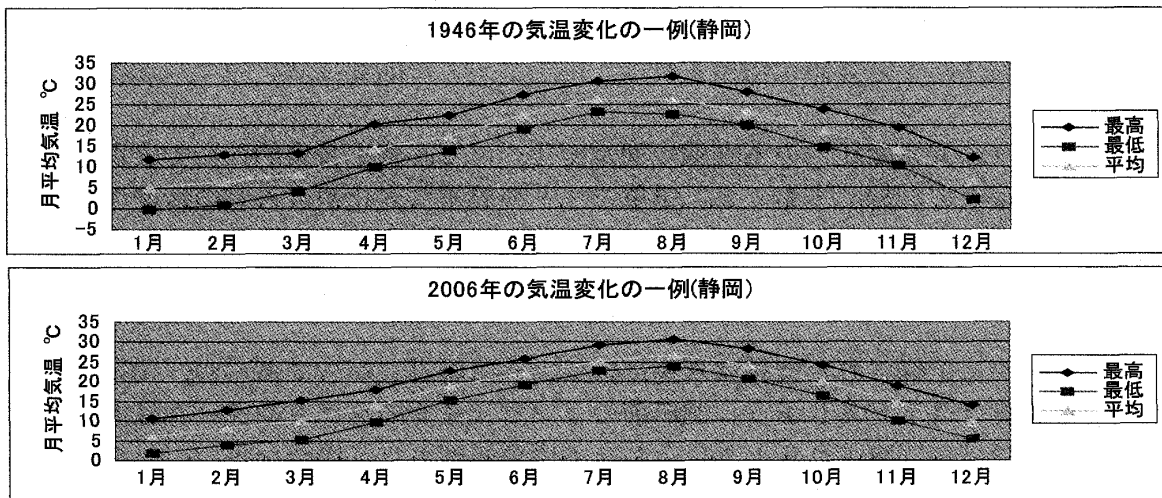


図24 1946年と2006年の気温変化を比較するグラフ

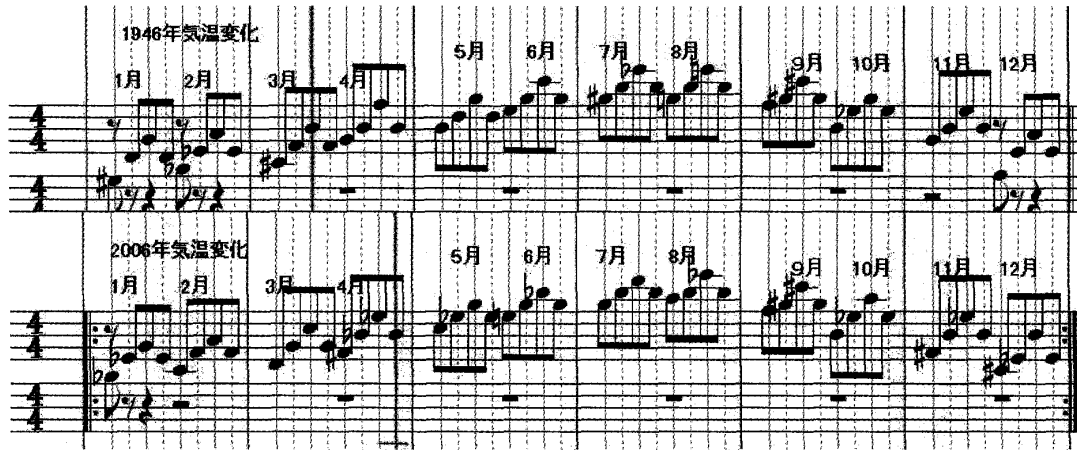


図25A 図24のグラフに対応する気象データ音楽の楽譜例

図25Aに示す楽譜を電子楽器で演奏した場合の気象データ音楽は1946年と60年後の2006年の気温変化を比較的忠実に表現するが、12音音階を使っている関係で異様な響きになる。聞きにくい。つなぎ目のところに、図25Bに示すような各年の気温変動範囲を示す音程のカデンツァ（演奏家の曲芸演奏部）を追加すると飽きなくなる。

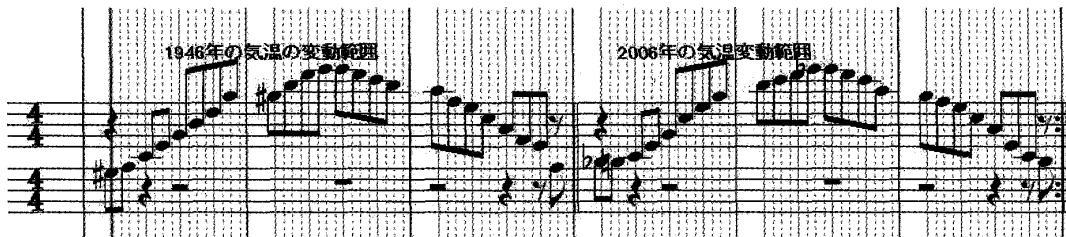


図25B 1946年と2006年の気温変動範囲の違いを音で示す楽譜例

最後に、データを音楽情報に変換して記録することに関しては、誰もが納得するとは思えない。音楽による情報伝達は不確実であると信じられているからである。しかし、あえて音楽への変換のメリットを上げるとすれば、以下のようなになる。

- (1) 時間順気象データを楽譜に変換すれば、電子ピアノで演奏させ、色々な速度で鑑賞できる。
- (2) 気象データの異常変化への不安感や通常変化への安心感を音楽的な音で表現できる。
- (3) 楽譜に変換して記録しておく、気象データの異常な変化が今と昔の音楽の違いでわかる。
- (4) 気象データなどコンピュータの中の情報をコンピュータの外の文化的な資料として残せる。

コンピュータに記録された情報は永遠に残るように錯覚しがちであるが、10年も過ぎると中身の信用度は低下してしまう。20年前のコンピュータのソフトやデータは担当者が居なくなったり機械が廃棄されるときに合わせて廃棄処理される場合が多い。それだけに、貴重な気象データは楽譜に変換して記録し、後世の人たちに音楽として鑑賞されるチャンスを作りたいと考えた。

10. 静岡での日照時間に関する気象データのグラフ化

これまでは気温についての分析が中心であったが、この節では日照時間について触れる。

表9 気象庁のウェブサイトから入手した日照時間のデータの一部分

年	1月	2月	3月	4月	5月	6月	7月	8月	9月	10月	11月	12月	年間日照時間
1940	264	185	239	203	227	204	186	203	158	155	135	204	2363
1941	222	166	194	225	187	127	152	181	121	217	133	177	2100
1942	241	153	200	222	217	152	221	229	211	227	210	207	2490
1943	262	234	187	224	209	145	211	274	211	175	201	221	2554
1944	210	243	208	213	208	215	203	239	188	132	158	207	2423
1945	255	195	201	230	229	184	166	244	165	149	223	220	2459
1946	218	203	176	208	177	192	247	284	188	178	155	211	2437
1947	172	242	207	270	215	149	272	297	163	195	209	198	2589
1948	234	205	161	207	200	171	232	204	194	158	168	177	2310
1949	239	185	203	247	224	144	246	264	159	142	172	182	2406
1950	178	157	201	172	171	116	166	200	136	123	106	153	1878
1951	169	150	195	134	178	151	134	207	105	141	174	179	1916
1952	176	136	171	145	152	113	119	224	134	143	128	163	1802
1953	194	157	161	189	148	78.9	140	130	128	151	168	144	1789
1954	128	175	169	152	142	95	95.2	207	143	124	169	172	1770
1955	236	199	155	163	153	137	236	195	126	130	203	216	2149
1956	192	215	169	174	142	167	133	153	131	88.1	164	220	1948
1957	177	167	246	157	157	99.7	106	177	81.2	167	161	140	1835
1958	168	182	201	173	177	149	115	200	155	120	137	184	1960
1959	173	122	187	177	181	128	136	166	147	157	138	189	1899
1960	224	227	189	153	154	111	149	181	145	153	143	210	2040

日照時間のデータをグラフ化すると、図26が得られる。直線近似式を求めると以下のようになる。近似直線式： $Y = -1.9305 X + 2211.8$

つまり、静岡での日照時間は1940年以降で概略的には減少傾向である。年に約1.9時間も短くなる。これは、海水温度上昇による雲の発生量の増加が原因であろうと考えられる。

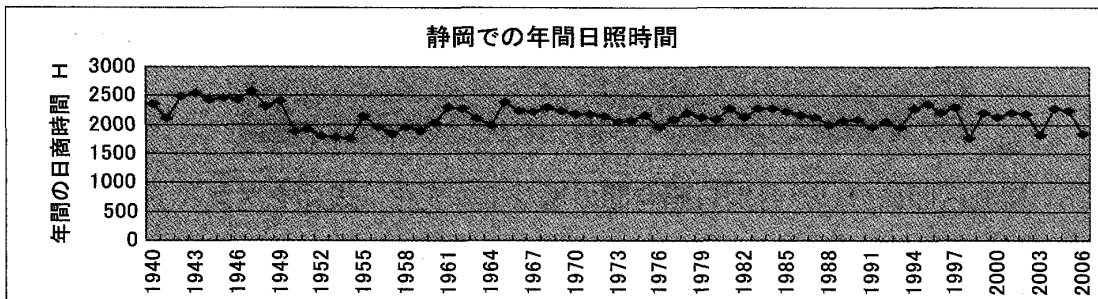


図26 静岡での年間日照時間の年次推移

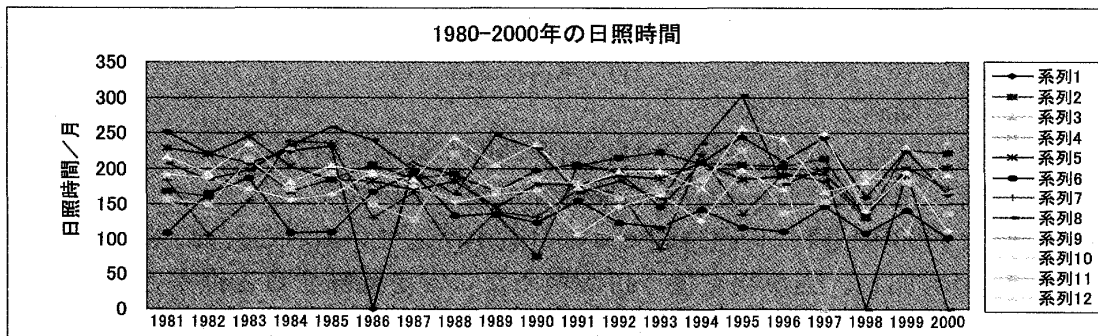


図27 1980-2000年における月別日照時間の年次推移（系列は月を示す）

気温上昇の大きかった観測区間での日照時間の月別変化をグラフ化すると図27のようになる。しかし、何月に日照時間の減少があったかは読み取れない。そこで、表計算ソフト（マクロコード）を利用して、月別日照時間を4つの観測区間に分けて直線近似式の勾配を求めた。表10がその結果の日照時間増減率を示す。グラフで示すと図28のようになる。

表10 期間ごとの直線近似式の勾配（日照時間増減率）の推移

年代	1940-1960	1960-1980	1980-2000	2000-2006
1月	-3.48	-1.09	0.70	3.50
2月	-1.18	-0.80	0.90	-5.01
3月	0.99	-1.02	-0.01	-3.93
4月	-4.00	-0.81	-0.22	-3.99
5月	-3.56	1.76	-1.55	-5.53
6月	-3.23	0.15	-1.35	1.23
7月	-4.57	0.27	0.62	-15.41
8月	-3.69	-2.47	0.26	3.05
9月	-2.92	-1.39	0.11	1.20
10月	-2.86	0.01	-0.56	2.66
11月	-1.23	-0.26	0.11	4.10
12月	-1.12	-0.76	-0.59	1.08

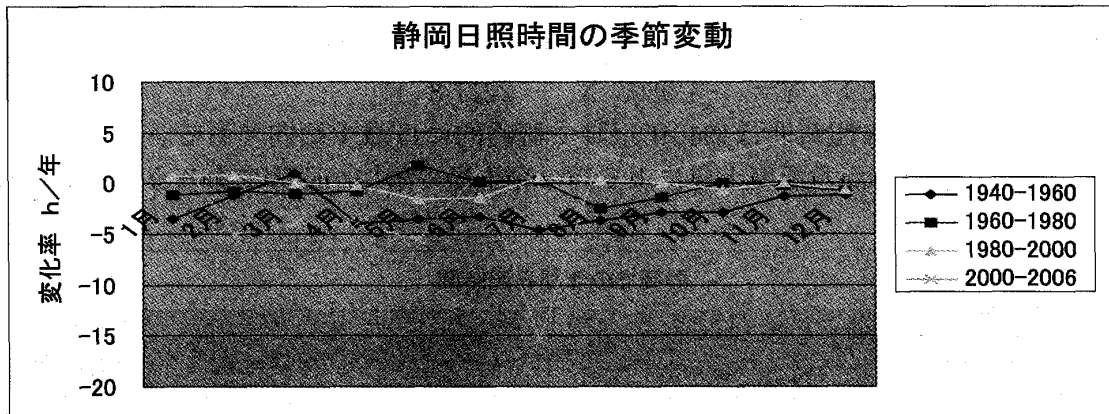


図28 観測区間に分けた月別日照時間の増減率の変化（表10をプロットしたもの）

表10と図28から静岡での日照時間に関しては以下のことが推察される。

- ① 1940年から1960年まではほとんどの月で日照時間が減少している。
- ② 1960年から1980年では日照時間に変動がない。
- ③ 1980年以降2000年まではやや減少気味である。
- ④ 2000年以降は減少傾向であり、7月の減少が目立つ。
- ⑤ 2000年以降の傾向としては
 - ・春の2月、4月、5月、夏の7月に日照時間が減っている。
 - ・秋の9月、10月、11月、12月に日照時間が増えている。
- ⑥ 図28からは1990年以降に日照時間ゼロの月数が増えている。これは、気温上昇により水蒸気量が増加し、雲が空を覆う日が増えたことを意味すると推察される。実際に、2003年と2007年7月の東海・関東地方日照時間は、それぞれ、約64時間、77時間と、例年（163時間）に比べて極めて短かった。

11. 静岡での降水量に関する気象データのグラフ化

日照時間と同様に、降水量も日本領土内でも都市の地理的位置条件によって大きく異なる。気象庁のウェブページから入手した静岡での降水量に関する気象データを以下に示す。

表11 気象庁のウェブサイトから入手した降水量のデータの一部

年	1月	2月	3月	4月	5月	6月	7月	8月	9月	10月	11月	12月	年間降水量
1940	1.1	150.4	79.4	224.8	57	188.3	97.4	360.8	76.9	155	58.5	21.4	1471
1941	98.9	77.8	245.9	224.2	401	593.7	714.4	418.3	502.3	97.6	267.4	90.7	3732
1942	12.9	134.1	317.8	254.8	105.5	347.4	35.3	161.2	200.9	136.8	135.5	6.2	1848
1943	45.7	154.3	122	176.9	108.9	261.7	235.6	208.3	122	443.3	52	31.4	1962
1944	28.3	66.6	77.6	270.4	152.1	126.3	258.2	345.6	357.3	270.9	184.7	19.7	2158
1945	1	84.7	175.3	279.7	162.3	386.2	374.6	457.5	181.1	858.5	84.5	60.9	3106
1946	65.3	66.1	158.6	162.5	245.5	112.9	141.8	12.3	375.7	187.7	265.7	94	1888
1947	139.4	23	196.9	170.9	269.5	115.6	111.1	66.1	381.2	119	63.6	105.1	1761
1948	58.1	132.4	169.1	208	137.3	391.7	109.3	205.3	470.4	102	220.6	82	2286
1949	82	98	120.9	173.5	270.5	491.4	158.4	154.1	363.2	220.9	200.7	111.2	2445
1950	136.7	117.4	174.6	197.9	391.8	646.5	140.3	317.8	290.6	120.4	178.5	131.8	2844
1951	40.8	101.7	331.7	331.3	205.2	266.1	383.9	322.3	299.8	121.1	123.2	128.8	2656
1952	96.7	106.2	258	246	235.7	311.8	391.3	285.2	182.8	197.3	92	39.8	2443
1953	63	91.2	252.2	200.8	235.5	591.8	342.8	377.3	397.5	138.7	22.3	44.5	2758
1954	94.9	163	141.5	407.5	322.8	470.8	215.9	247.9	513.3	88.2	92.8	100.8	2859
1955	79.1	93.5	258.4	312.4	128.3	216.1	63.9	433.2	198.8	281.7	86.9	60.9	2213
1956	95.5	41.4	366.2	362.3	408.6	294.2	65.5	192.6	405.2	305.2	62.8	11.3	2611
1957	46.7	111.3	60.7	174.9	273.9	370.4	250.9	394.8	409.7	88.2	144.7	108.9	2435
1958	120.6	145.7	99.8	152.4	116.2	60.4	352.3	217.5	382.2	226	95.4	137	2106
1959	137.5	272.7	143.8	387.5	186.8	132.3	201.6	576.9	277.2	161.6	147.5	183.4	2809
1960	37.1	18.1	150.8	249	234.3	217.7	264.2	371.8	166.6	112.7	144.7	63.1	2030

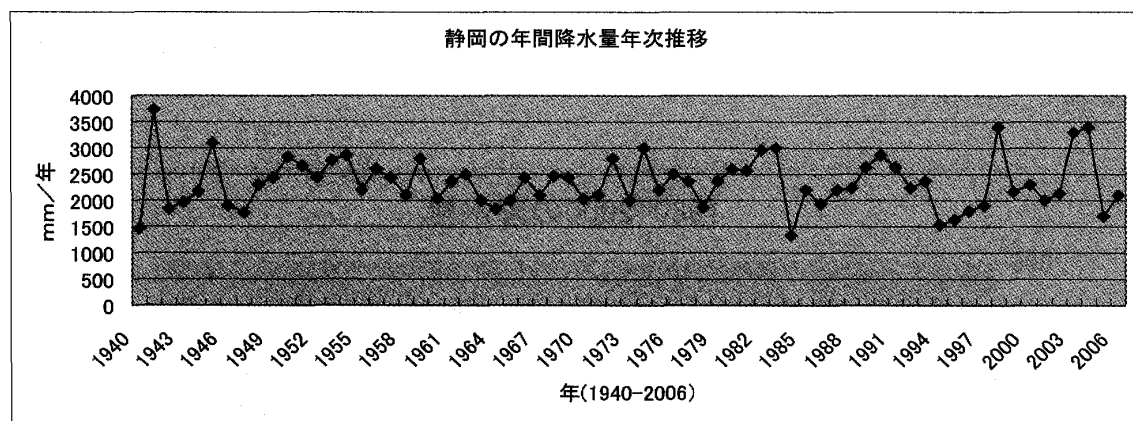


図29 静岡での年間降水量の年次推移

表11の右端の年間降水量をプロットすると、図29のグラフが得られる。直線近似式を求めると以下ようになる。

$$Y = -0.7171 X + 2365.6 \quad (\text{mm/年})$$

つまり、静岡での降水量は、僅かずつであるが、減少している。平均で2300mmもの降水量があるので、年に0.7mmずつの減少は心配するほどでない。しかし、1,500mm以下に減る年が現れており、1980年以降増えているので、農業用の貯水には配慮が必要であるとわかる。

図29の年間降水量を4つの観測区間に分けてグラフ化し、直線近似式を求めると図30のようになる。

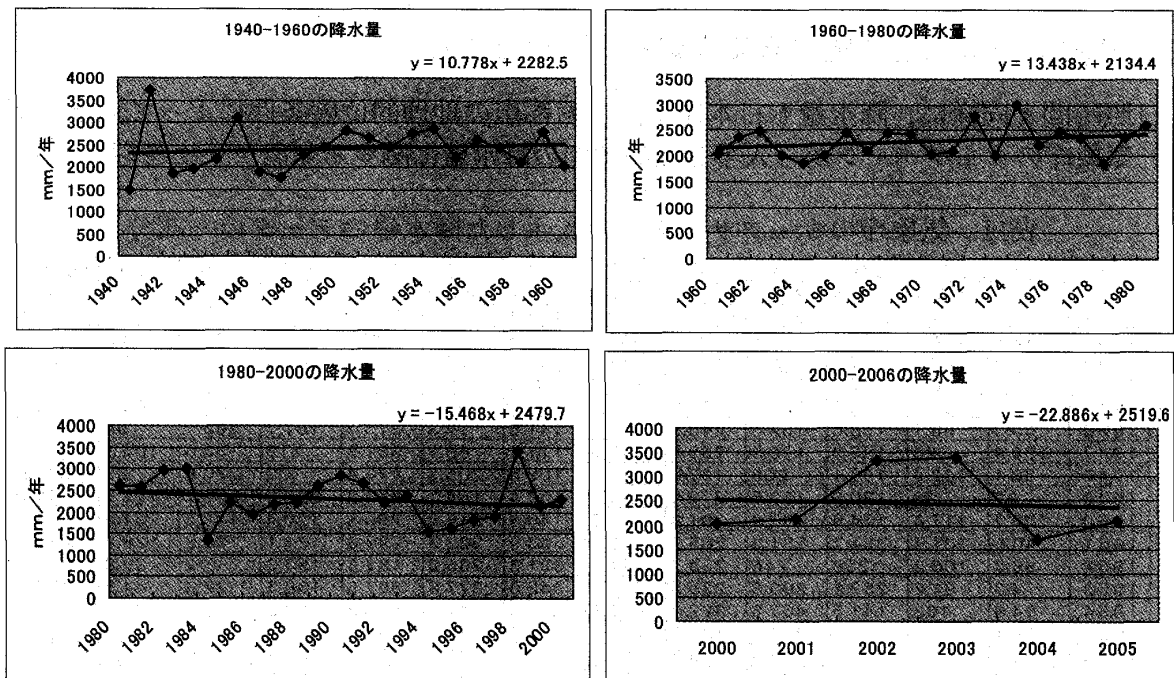


図30 年間降水量の観測区間別の変化と近似直線

気温上昇の大きかった観測区間での降水量の月別変化をグラフ化すると図31のようになる。何月に降水量がゼロになったかを読み取れないが、降水量ゼロの月が何回か存在することを示している。

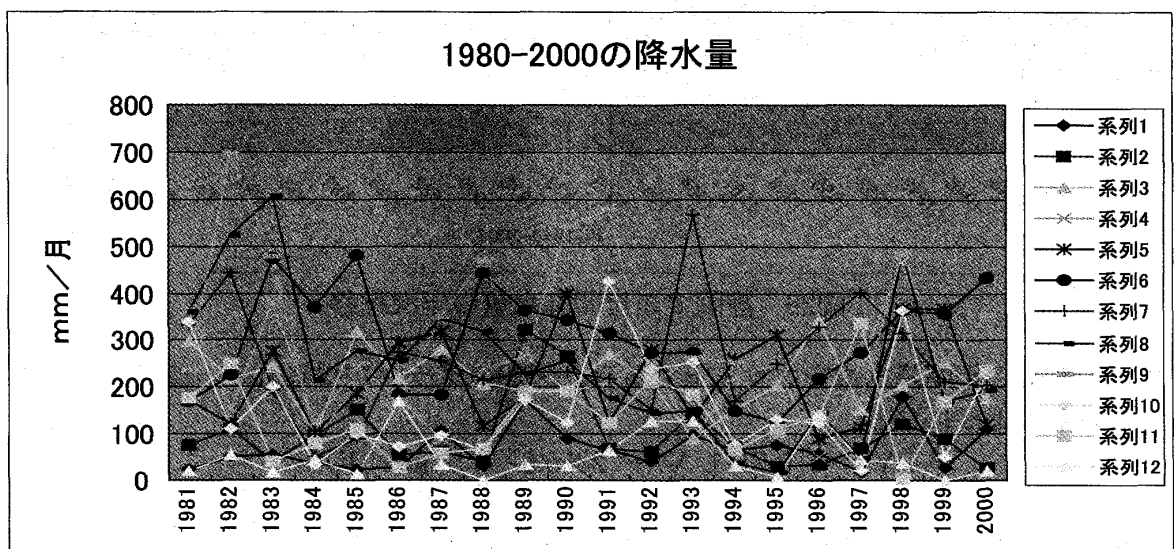


図31 1980-2000年における月別降水量の年次推移 (系列は月を示す)

そこで、表計算ソフトにより日照時間の増減率を計算するマクロVBAコードを転用し、月別降水量の直線近似式の勾配を4つの観測区間に分けて求めた。その結果の降水量増減率を表12に示す。

表12 月別降水量の増減率 (mm/年)

年代	1940-1960	1960-1980	1980-2000	2000-2006
1月	2.98	0.57	1.38	-17.79
2月	0.86	3.71	-2.19	19.95
3月	0.33	4.69	-0.60	0.20
4月	3.76	0.11	-1.17	10.91
5月	3.63	-3.47	1.33	18.43
6月	-3.59	-7.68	-0.81	-5.66
7月	-1.60	6.34	-0.57	18.52
8月	5.79	-1.67	-12.55	2.54
9月	3.47	7.85	-4.08	-38.80
10月	-5.90	2.35	0.76	4.46
11月	-2.28	0.39	2.63	-18.64
12月	3.34	0.25	0.40	5.95

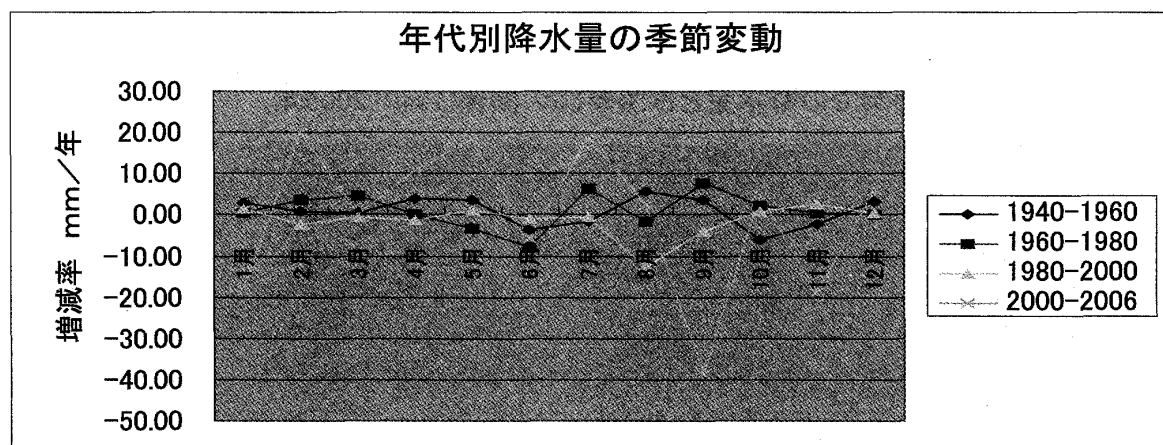


図32 表12の値をプロットしたグラフ (月別降水量の観測区間別の变化)

表12と図32による降水量のグラフ分析によって、静岡での降水量に関しては以下のことが推察される。

- ① 1940年から1960年までは降水量がすこし増加している。
- ② 1960年から1980年では降水量がやや大きく増加している。
- ③ 1980年以降2000年まではやや減少気味である。
- ④ 2000年以降は、データ数が少ないので今後の気象データによって変わるので、明確な傾向はいえないが、2006年まででは9月の減少が目立つ。代わりに、5月と7月の増加が目立つ。
- ⑤ 2000-2006年については
 - ・春の2月、4月、5月、夏の7月に降水量が増加しているが
 - ・秋の9月、11月と冬の1月に降水量が減少している。
- ⑥ 図31を見ると、1980-2000年の傾向であるが、降水量の50mm以下の月数がかなり増えている。特に冬の降水量はかなり少ないといえる。
- ⑦ 気温が上昇すれば水蒸気量が増えて曇るはずであるが、日本の地形の特徴により、太平洋側では雲が残留しない。少なくとも静岡では秋から冬までの降水量の減少には注意が必要と思われる。

12. 静岡での日照時間と降水量と気温の関係についてのグラフ分析

世界平均気温が上昇すれば降水量が増えると予想されがちであるが、日本の静岡周辺では減少すると指摘されている。日照時間については気温上昇で水蒸気が増えて雲が増えれば減少するので、減少し、結果として気温上昇を抑制することになりそうである。このような関係を、静岡の気象データを例としてグラフ分析してみた。

A：降水量と日照時間

図33は降水量と日照時間の関係を示す散布図である。日照時間が減ると降水量が増える傾向を示す。降水量は通常の間よりかなり多くなるケースがあることを示している。

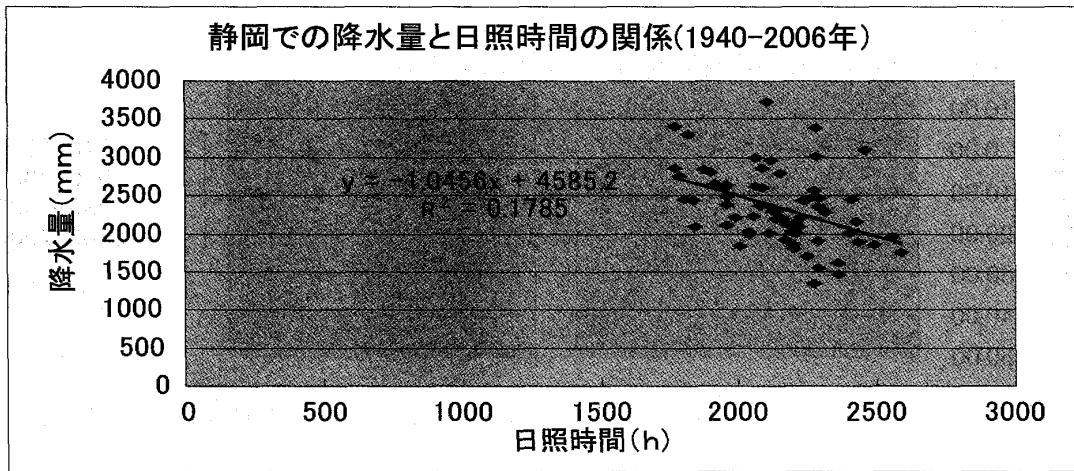


図33 降水量と日照時間の関係

B：降水量と平均気温

図34は降水量と平均気温の関係を示す散布図である。平均気温があがると降水量が増える傾向を示す。平均気温が1℃上昇すると降水量は100mm程度上昇するという傾向であるが、観測期間を4つに分けて上昇率の詳細な分析が必要であるが、紙面の都合で省く。

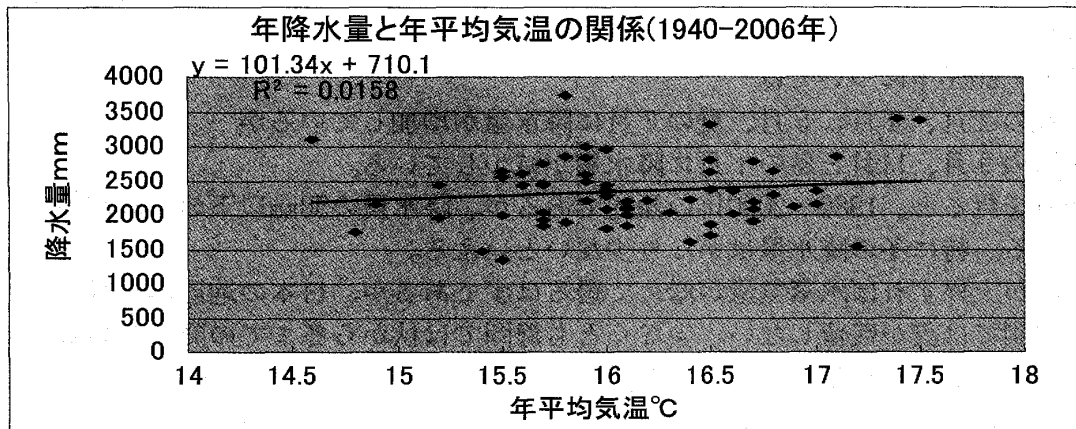


図34 降水量と平均気温の関係

C：平均気温と日照時間

図35は平均気温と日照時間の関係を示す散布図である。日照時間が増えると平均気温が減少する傾向を示すが、ごくわずかであり、無関係に近いといえる。しかし、複雑な関係が潜んでいるように思える。一般に、日照時間が長いと平均気温の上昇は大きくなるが、気温上昇によって水蒸気量が増えるので、日照時間が減る。それが気温上昇を打ち消す。詳しくは観測期間を4つに分けた上昇率の分析が必要であるが、紙面の都合で詳細を省く。

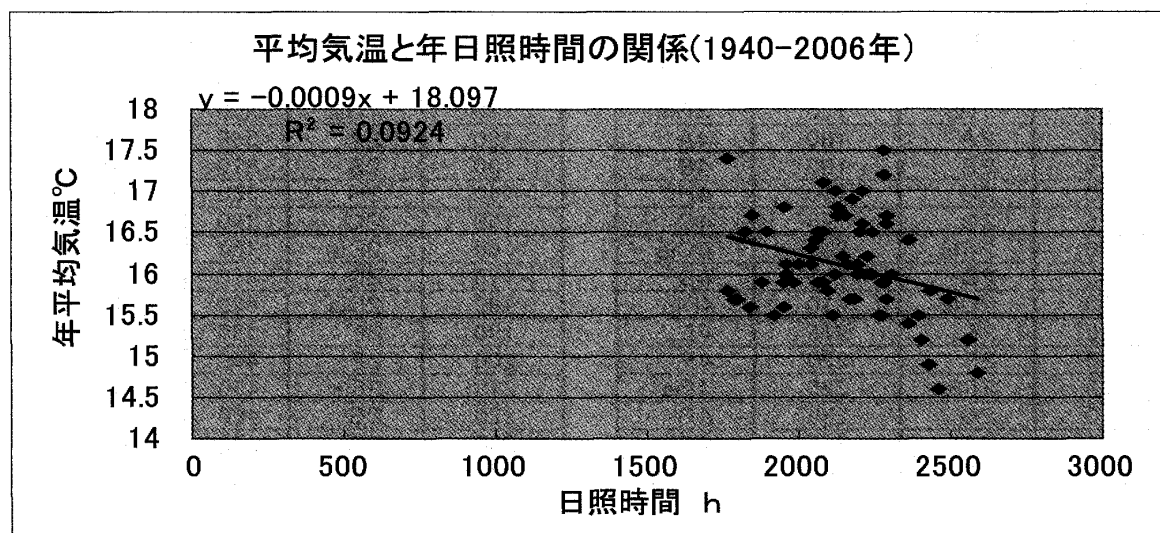


図35 平均気温と日照時間の関係

13. 日照時間と降水量の楽譜への変換について

気温の場合には0°Cを中心にプラスとマイナスに変動を想定して、ピアノの鍵盤の中心位置（チェロのA線の音程A）に0°Cを割り当て、鍵盤を右に進むにつれて気温が上がり、左に進むにつれて気温が下がるように気温と音程の変換表を作成したが、日照時間や降水量のゼロを鍵盤のどこに割り当てるべきかの決定が難しい。降水量だけであれば、最高音のAの音程を0mmに割り当てることができる。しかし、日照時間との相関を感じ取らせるためには、日照時間も0時間を最高音のAの音程に割り当てる必要がでてくる。これが現実的であるかないか判断しにくい。

そこで、ここでは、平均値をピアノの鍵盤の中心位置（チェロのA線の音程A）に割り当てることを提案する。ただし、平均値は地域ごとで異なるので、世界全体の平均値で固定することを考え、以下のような日照時間と音程の変換表を作成した。

表13が日照時間と降水量の音程への変換表の一例である。日照時間の月平均値を180時間とし、降水量の月平均値を360mmとして、それに中心位置（チェロA線の1オクターブ上の音5A）を割り当て、半音で月平均日照時間が5時間、月平均降水量が10mm変化すると考えてある。

表13 日照時間と音程の変換表（左）と降水量と音程の変換表（右）

月平均	音程	月平均	音程	月平均	音程	月平均	音程
0	1A	120	3A	0	1A	240	3A
5	1B	125	3B	10	1B	250	3B
10	1H	130	3H	20	1H	260	3H
15	1C	135	3C	30	1C	270	3C
20	1Cis	140	3Cis	40	1Cis	280	3Cis
25	1D	145	3D	50	1D	290	3D
30	1Dis	150	3Dis	60	1Dis	300	3Dis
35	1E	155	3E	70	1E	310	3E
40	1F	160	3F	80	1F	320	3F
45	1Fis	165	3Fis	90	1Fis	330	3Fis
50	1G	170	3G	100	1G	340	3G
55	1Gis	175	3Gis	110	1Gis	350	3Gis
60	2A	180	4A	120	2A	360	4A
65	2B	185	4B	130	2B	370	4B
70	2H	190	4H	140	2H	380	4H
75	2C	195	4C	150	2C	390	4C
80	2Cis	200	4Cis	160	2Cis	400	4Cis
85	2D	205	4D	170	2D	410	4D
90	2Dis	210	4Dis	180	2Dis	420	4Dis
95	2E	215	4E	190	2E	430	4E
100	2F	220	4F	200	2F	440	4F
105	2Fis	225	4Fis	210	2Fis	450	4Fis
110	2G	230	4G	220	2G	460	4G
115	2Gis	235	4Gis	230	2Gis	470	4Gis
120	3A	240	5A	240	3A	480	5A

この変換表を使って図36に示す1946年と2006年の降水量や日照時間のデータを音楽に変換して記録する実験を行った。図37が気象データ音楽の楽譜の一例である。

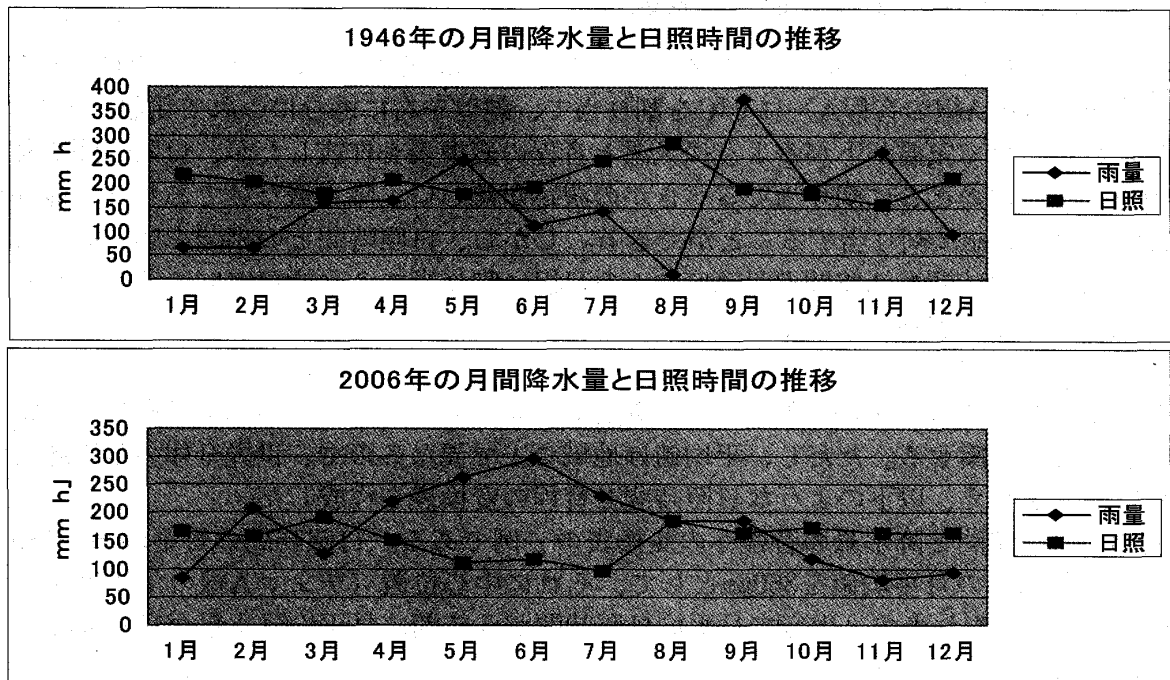


図36 1946年と2006年での降水量や日照時間の比較のためのグラフ

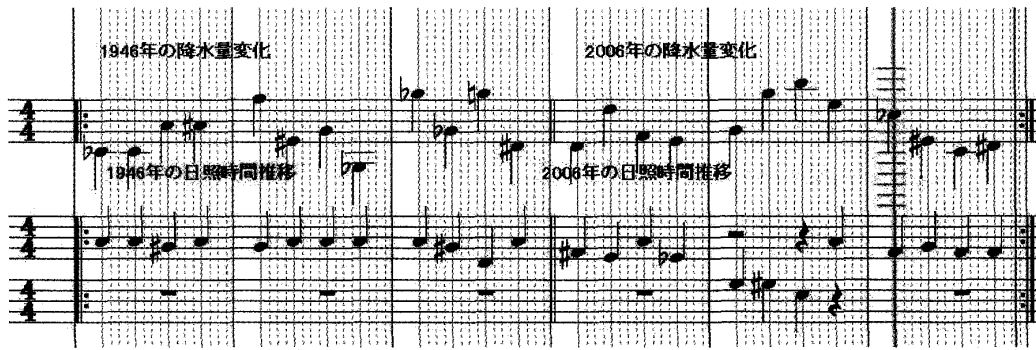


図37 1946年と2006年の降水量と日照時間を表す音程シーケンス

この楽譜を演奏してみると、支離滅裂な感じを受ける。雨量の精度が高すぎたためか、半音を含む音程変化が増え、和声4 施律も奇妙になりすぎる。音楽として聞かせるには改良が必要とわかった。

14. CO₂濃度の変化

図1のデータを表計算ソフトを使ってグラフ化すると以下のようなになる。

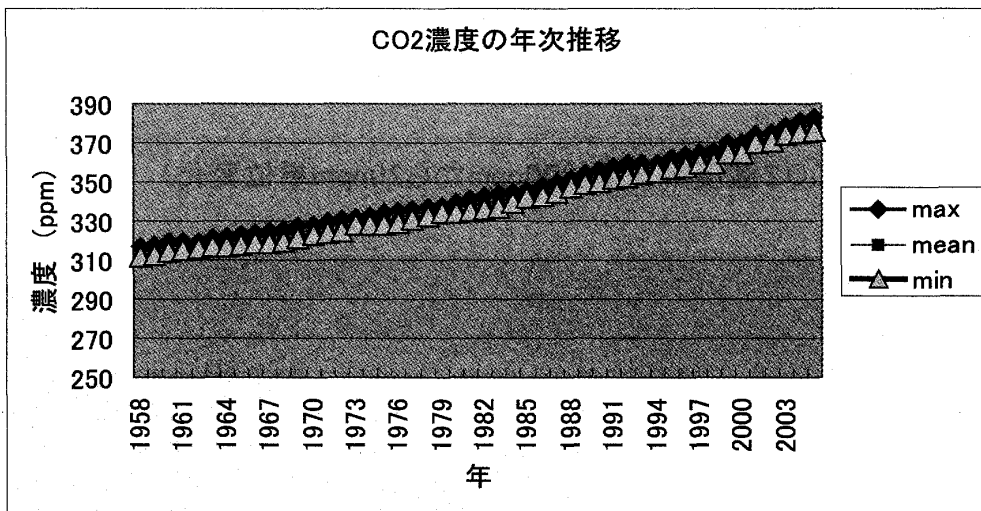


図38 2 酸化炭素CO₂濃度の年次推移をプロットしたもの

温室効果を持つ2 酸化炭素ガス (CO₂) の濃度は1900年の初めに280ppmであったが、2000年には380ppmに増加している。これによって世界の平均気温が上昇していると言われている。しかし、大気汚染によって太陽光線の入射量が減ると、赤外線も減り、温室効果ガスが増えても、気温が上昇しない。赤外線の放射冷却をさえぎる雲も温室効果を持つといわれるが、曇りの日が続くと、太陽光線が入らないため、気温が上昇しなくなる。それと同じである。温室効果ガスの濃度が380/280=1.35倍に高まっても、それに対応した温度上昇は達成されない。そのことは、CO₂濃度と気温上昇の関係を示す図39と図41でわかる。

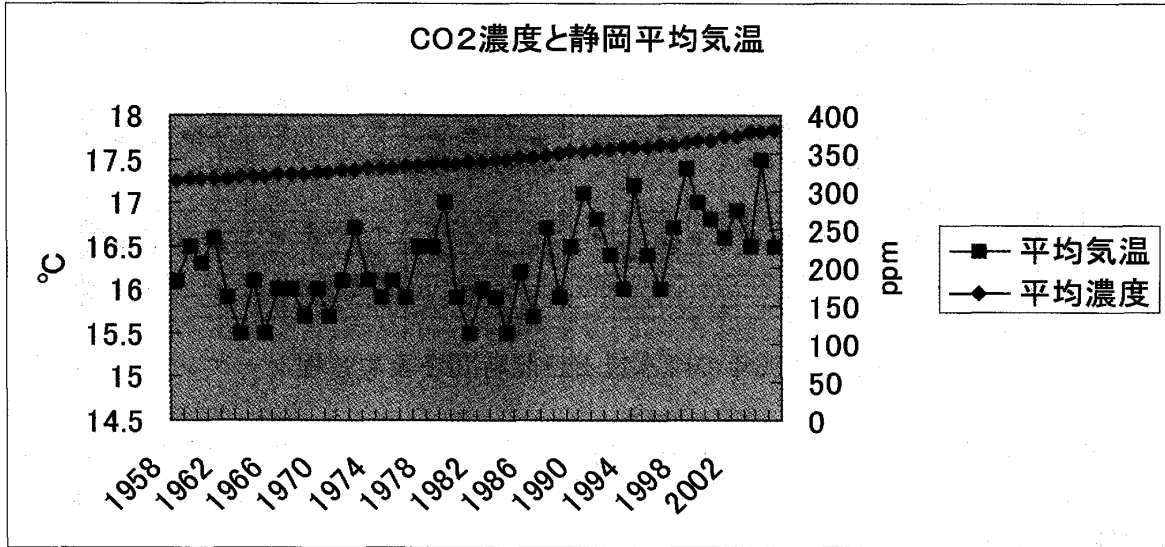


図39 CO₂濃度と静岡の平均気温の年次推移

CO₂濃度の変化を音の変化に変換するために、CO₂が20ppm増加すると音程が1度上昇するという考えを考えた。気温の変動範囲をはずして、低音のA（チェロの楽器のA線の1オクターブ下）の近辺に設定し、ホルンやトロンボーンで演奏させることを考えた。20ppm以下なら1度、40ppmまでなら2度高い音を出すだけである。変換のために、CO₂濃度を20ppmで割り、整数化を行った。その結果は図40のようになる。

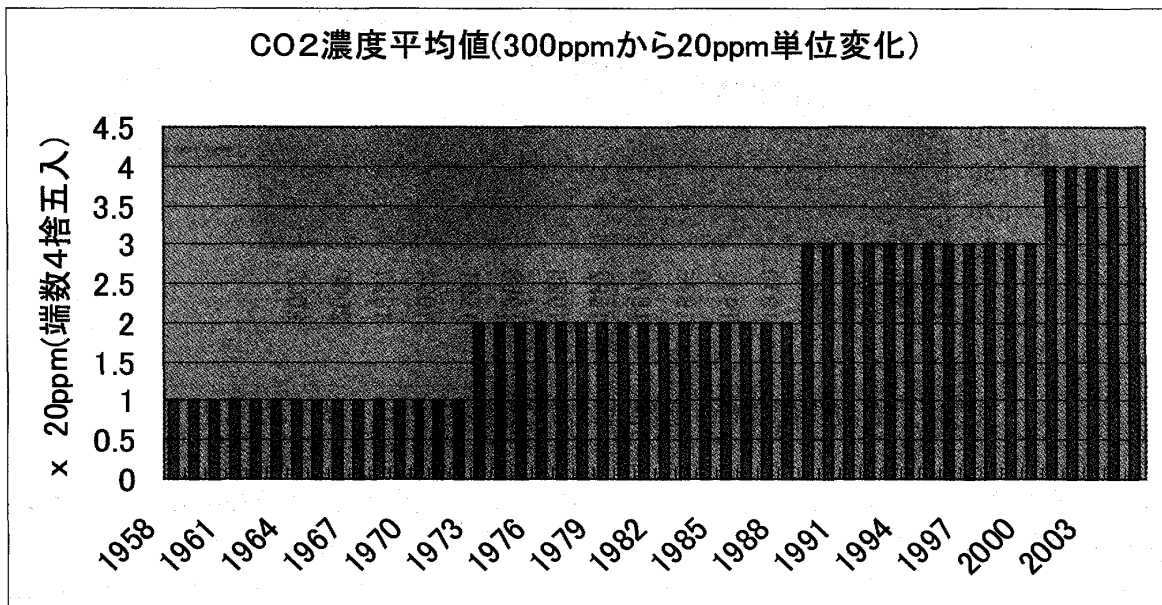


図40 音程の1度上昇に対応する20ppm単位でのCO₂濃度の増加の様子

ついでに、CO₂濃度と平均気温との散布図を求めると図31のようになる。近似直線を求めると、気温1℃あたり約21ppmの上昇であるから、20ppm単位での音程変化は妥当といえる。これは100ppmのCO₂濃度上昇で平均気温5℃の上昇が起こることを示す。

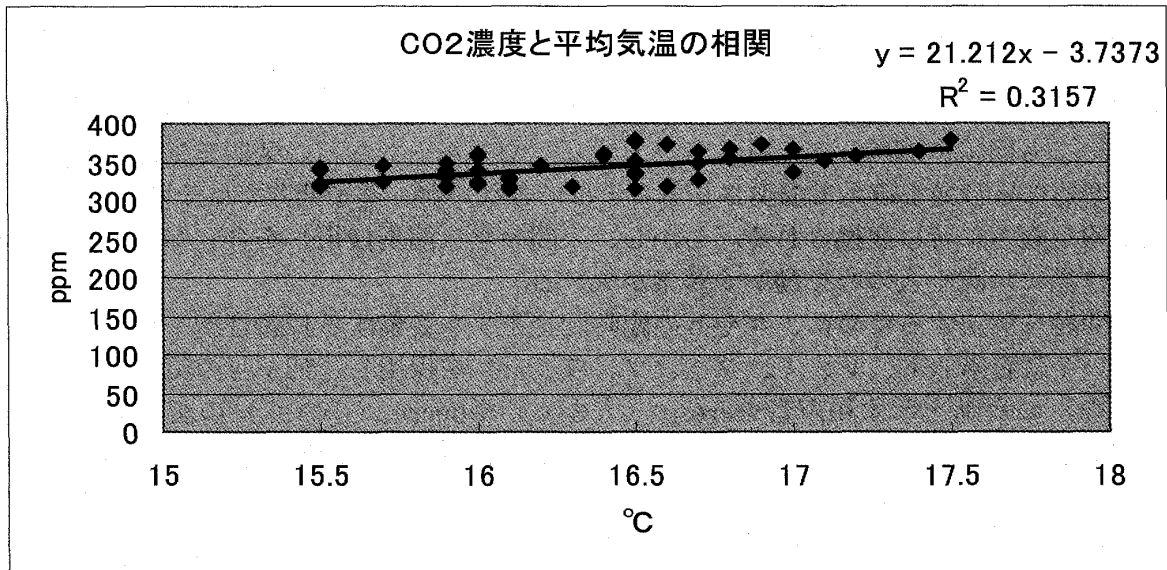


図41 CO₂濃度と静岡平均気温の散布図



図42 1小節を1年とする気温変化とCO₂濃度の変化を音で示す楽譜例

この楽譜の演奏を聴く限りでは、気温変動が年々めまぐるしく変動するが、CO₂濃度の上昇があっても、気温変化が顕著に変るとは感じられない。60年前を振り返ると、いつの間にか気温も濃度も上昇していたと気づく程度である。

15. 音楽的な存在への編集

気象データを厳密に音程に変換した楽譜を電子楽器で演奏させると、臨時記号がいくつ付いていても簡単に演奏してくれる。バイオリンやフルートなどの楽器を指定する場合、通常の楽器なら音域を越えて演奏させることはできないが、電子楽器ではその制約がない。音楽情報が直ちに音に変換される。しかし、人間の手（演奏技術）を介さないで演奏された作曲作品には聞く人の心を動かす要素が欠ける。

この問題を解決するために、#やbの臨時記号をフル装備する12音音階を止め、臨時記号のない7音音階（ド、レ、ミ、ファ、ソ、ラ、シ）を採用し、12ヶ月の気温（最高、最低、平均）の変動を示す和声音をcrese.（大きく）やdecre.（小さく）の記号でリズムカルに演奏させることにした。さらに、リズム音楽の背景にCO₂濃度の音符を響かせることを狙った。図32の気温変化の楽譜では、図22とは異なる気温—音程変換法を採用した。チェロのA線の音を2℃として、気温2度で1音階上がる換算方法である。

表14 12音音階でなく7音音階を用いる気温と音程の変換表

気温	音程	呼び名	気温	音程	呼び名
-40	0 A	ラ	0	2 G	ソ
-38	0 H	シ	2	3 A	ラ
-36	0 C	ド	4	3 H	シ
-34	0 D	レ	6	3 C	ド
-32	0 E	ミ	8	3 D	レ
-30	0 F	ファ	10	3 E	ミ
-28	0 G	ソ	12	3 F	ファ
-26	1 A	ラ	14	3 G	ソ
-24	1 H	シ	16	4 A	ラ
-22	1 C	ド	18	4 H	シ
-20	1 D	レ	20	4 C	ド
-18	1 E	ミ	22	4 D	レ
-16	1 F	ファ	24	4 E	ミ
-14	1 G	ソ	26	4 F	ファ
-12	2 A	ラ	28	4 G	ソ
-10	2 H	シ	30	5 A	ラ
-8	2 C	ド	32	5 H	シ
-6	2 D	レ	34	5 C	ド
-4	2 E	ミ	36	5 D	レ
-2	2 F	ファ	38	5 E	ミ
0	2 G	ソ	40	5 F	ファ

同様に降水量に対しては、13節の反省を踏まえ、バイオリンE線の2オクターブ上のA音を基準に、その音から1度下がるごとに月当たり100mmの降水量が増加するという換算規則を採用した。気温変化の音域と重ならないように高い音程域で降水量の変動を感じられるようにした。一方、日照時間に対しては、チェロG線のA音を基準に、その音から1度上がるごとに月当たり50時間の日照時間が増えるという換算規則を採用した。この場合も、気温変化の音域と重ならないように低い音程域で日照時間の変動を感じられるようにした。したがって、1940年から5年間隔で2005年までの降水量と日照時間の変化を音に変換する楽譜は以下のようになる。降水量が増えると日照時間が減るという関係が、高音域での音程降下と、低音域での音程の低下であらわされる。2つを合わせた音楽は、祭りの踊りの音楽になるがわかり易い。

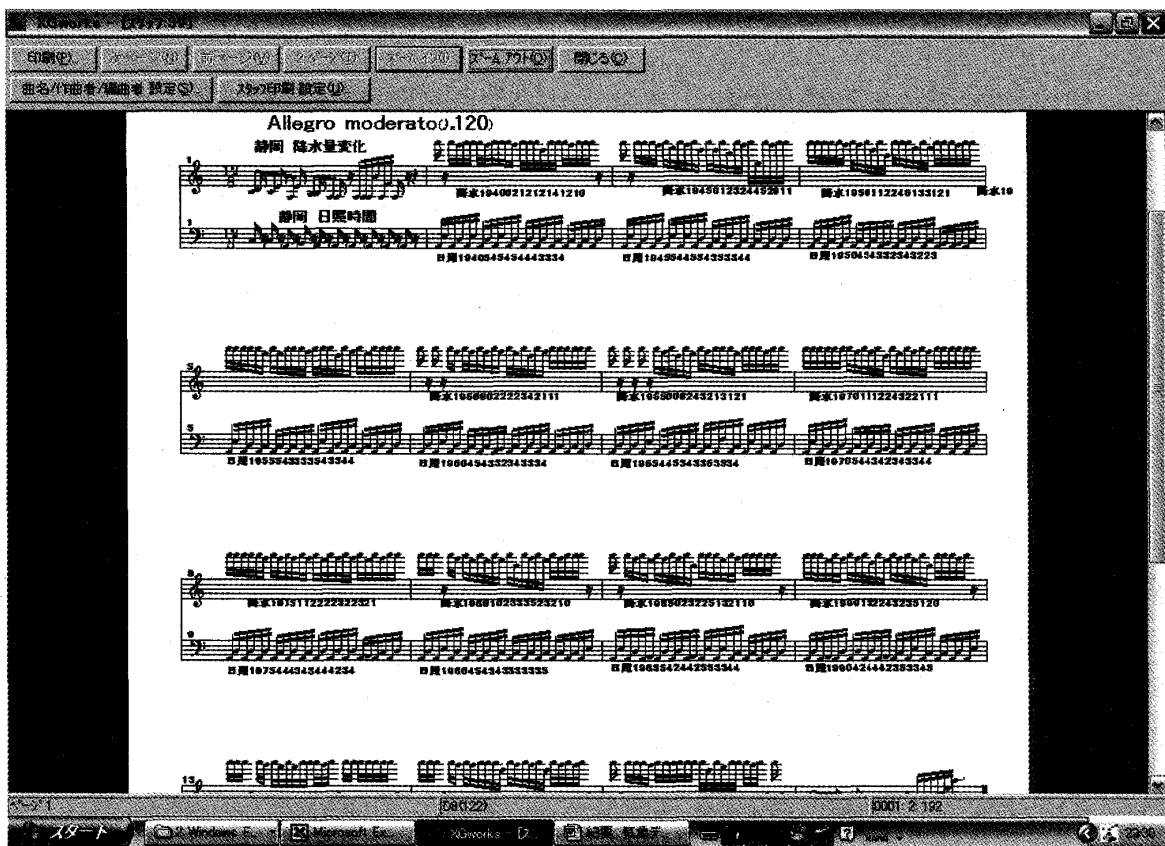


図43 1940年以降5年間隔の降水量と日照時間の変化を示す音楽の楽譜

降水量や日照時間の変化を音で感じさせるには、気象データの細部をカットし、精度を落とす必要があり、降水量では100mmで1度の音程差としている。音で表される概略的な変化をグラフで示すなら、以下のようなになる。1940年から10年毎の降水量の変化と日照時間の変化を示すグラフが図45(a)(b)(c)(d)のようなになる。

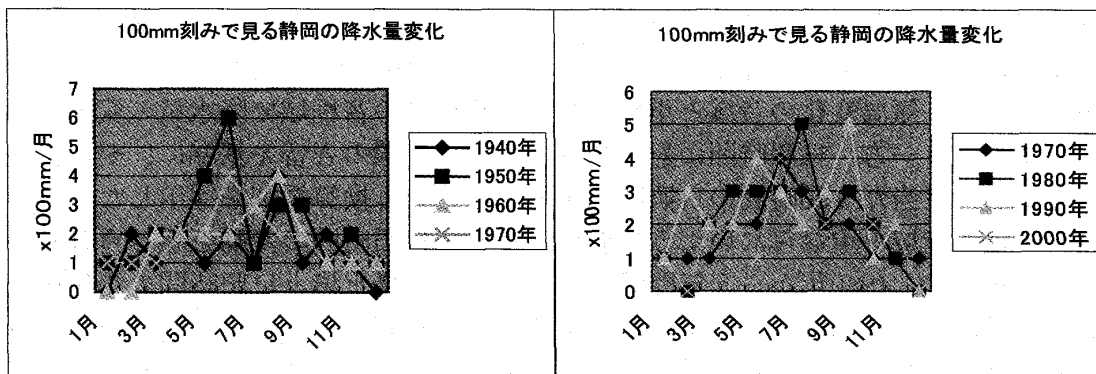


図44(a)と(b) 1940年から2000年までの降水量の100mm刻みの概略変化

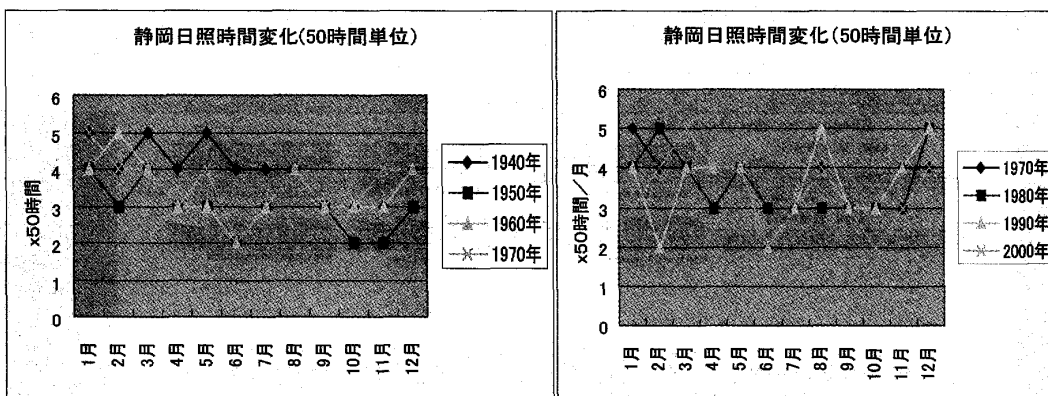


図44(c)と(d) 1940年から2000年までの日照時間の50時間刻みの概略変化

合奏の楽譜は図35のようになる。先頭の1小節は静岡など地点の音コードと開始年を示す音コードを含む。将来の他地域の気象データを音楽に変換するときの識別コードになる。

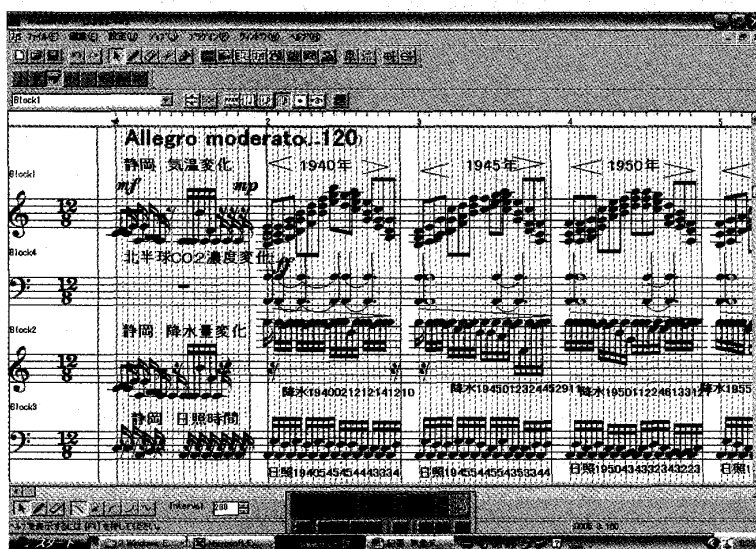


図45(a) 気温変化とCO₂濃度と降水量と日照時間の変化を音で感じさせる音楽の楽譜

グラフによる気象データ分析と音楽情報への変換記録

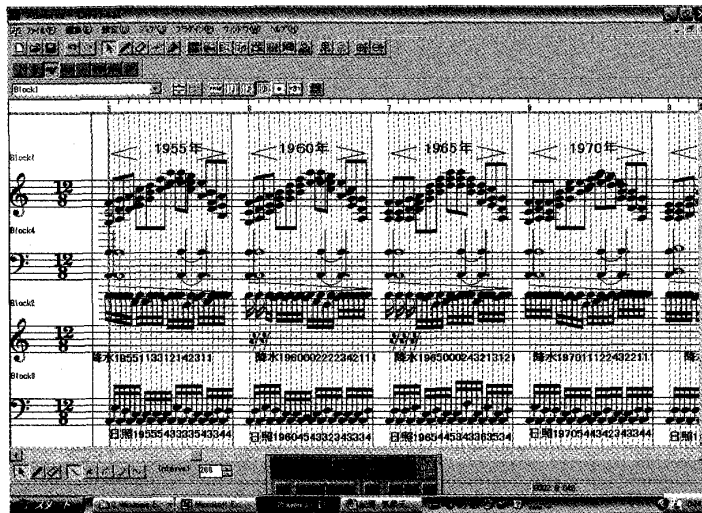


図45(b)

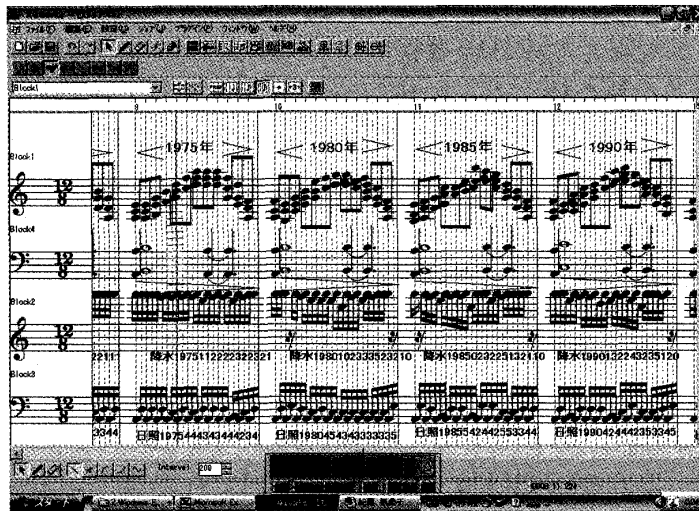


図45(c)

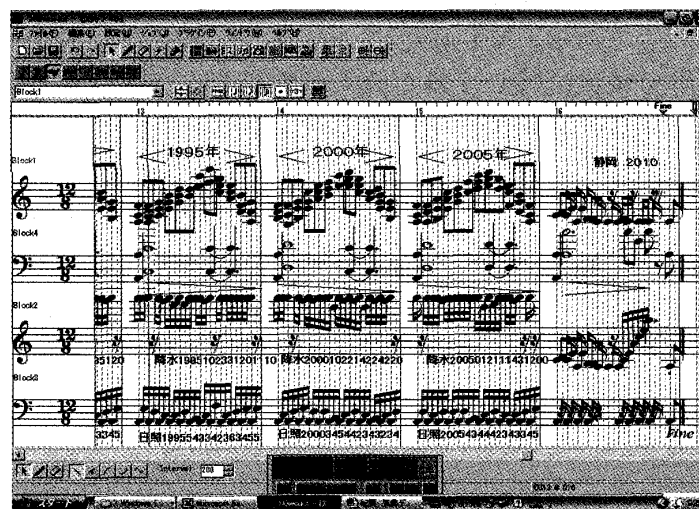


図45(d) 気温変化とCO₂濃度と降水量と日照時間の変化を音で感じさせる音楽の楽譜

16. 結論と考察

地球温暖化を防止する対策が国連や国会でも議論されているが、エネルギー消費を抑えることが難しいであろう。このまま温室効果ガスの排出量を削減しないであれば、地球温暖化はますますひどくなると予想される。その場合に、地球環境がどのように変化するか、各地域の住民が察知できる必要がある。パソコンの使い方を学んだ方なら、ここで例示したグラフを使うデータ分析手法によって地域別の気象データを分析し、地域の気候変化を解明できるようになると思う。65年前と比較するだけで変化の大きさを感じるであろう。静岡を例とした気象データのグラフ分析結果のまとめを行うと、以下のようになる。

- ①66年間の平均気温上昇は年0.02°C程度であるが、1980年以降に0.05°Cに増えている。
- ②月別で見ると冬の気温上昇が1980年以降で顕著であり、年0.06°Cから0.09°Cに及ぶ。これは100年で6°Cから9°Cの上昇に対応することであり、驚くべき気温上昇率といえる。
- ③気温上昇が温室効果ガスの影響によっていることは朝方の気温低下の減少で分かる。1990年以降、前日の大気の温もりが消えず、翌日の朝の気温上昇に加算されだしている。
- ④温室効果ガスによる太陽光の赤外線吸収による気温上昇以外の気温上昇の原因としては、化石燃料の燃焼による熱を持つガスの排気や、コンクリート建築材や道路での日光の蓄熱効果と、土壌や河川・湖・海から蒸発する水蒸気の温室効果が考えられる。

問題は、地球温暖化を止める手段がないことである。例えば、ガス風呂の中でお湯が暖まるまでは良いが、暑くなった時にガス風呂の熱源を止めることができないことである。経済発展を停止させ、全化石燃料の燃焼を禁止するなどの政策を世界各国でとれるだろうか。数十年後の地球環境が心配である。今後の地球温暖化とそれに伴う気象異常に早く対処できるためには、地域ごとでの通常気象と異常気象の区別を自動化するシステムの開発が必要であると考えられる。異常な気象現象を発見したら音で報せるシステムにしたい。^[20]

気象データの楽譜への変換と記録は、趣味的な研究でなされている。コンピュータやIT機器の技術革新が早いために、そこに蓄えられるソフトやデータが、苦勞して作られたにもかかわらず、データや記憶媒体の管理者が不在になると、捨てられ、後世に残らない可能性が高いと感じたからである。文化の形成に役立つないむなしさを解消するために、重要なデータや分析結果を後世に残し、多くの人に感じ取ってもらえるよう、音楽情報（楽譜）への変換を試みている。気象データ音楽の作品に関しては気候変動の証拠資料として役立つことを期待している。図45などの楽譜を電子楽器で演奏させると、面白い響きを体感できる。気象データの各パート（気温、CO₂濃度、日照時間、降水量など）への楽器割り当てを変えると、同じ楽譜でも色々な響きが現れる。当分の間は気象データ音楽から、芸術的な響きを感じさせることができるであろう。しかし、地球温暖化による気候変動が大きくなれば、音楽の響きが危険を告げる警報音として利用されるかもしれない。なお、静岡など主要都市の気象データ音楽の楽譜は電子楽器でいつでも演奏される。随時本学部のホームページで公開していきたい。

17 参考文献

- [1] W. Collons, R. Colman, J. Haywood, M R. Manning, P Mote; “The Physical Science behind Climate Change”, Scientific American August 2007, pp48-55,
- [2] K. E. トレンバース「温暖化で凶暴になる台風」日経サイエンス10月号 2007
- [3] マイクル・クライトン「恐怖の存在」早川書房 2005
- [4] アル・ゴア「不都合な真実」ランダムハウス講談社 2006
- [5] 安田喜憲「気候変動の文明史」NTT出版 2004
- [6] フディコ・ロノフ・ヤンジン「地球大気の歴史」朝倉書店 1989
- [7] スティーブン・シュナイダー「地球環境で何が起こるか」草思社 1990年台
- [8] 西岡秀三監修「地球温暖化がみるみるわかる、その原因と影響を徹底検証！」
- [9] 国立天文台編「理科年表」平成19年版 丸善株式会社 2007
- [10] 気象庁気象統計情報ウェブサイト URL www.jma.go.jp/jma/menu/report.html
- [11] 高橋恒介「気象データの音楽への変換」FSS2006講演論文集、p 431-434、2006
- [12] YAMAHA-Music-Sequence-Software「XG-Works V4.0」取り扱い説明書 1999
- [13] 高橋恒介「サウンドユーザインタフェースを含む環境計測システムについて」静岡産業大学国際情報学部研究紀要第6号 2004
- [14] 高橋恒介「環境科学教育へのサウンドとファジイの応用」FSS2004 講演論文集
- [15] 高橋恒介「環境計測データの音表現とファジイ表現」FSS2005 講演論文集
- [16] 高橋恒介「心地良いサウンドのための音楽のグラフ化」FSS2007 講演論文集
- [17] 高橋恒介「気象データサウンドを使う自然環境観察画像のファジイバスケット分析」FSS2007 講演論文集
- [18] 山口・菊池・斉藤「環境の科学 我らの地球、未来の地球」培風館 2005
- [19] 地球危機管理委員会編「地球が危ない！」幻冬舎 2002
- [20] 高橋恒介「気象異常を音で知らせる気象データ分析システム」東海ファジィ研究会 2007年2月17日の講演会資料