

# ピアノ演奏のコンピュータ分析とその自動演奏への応用

小川 亮一\*, 三好 和憲\*\*, 五十嵐 滋\*\*  
 Ryoichi Ogawa, Kazunori Miyoshi, Shigeru Igarasi  
 \*筑波大学理工学研究科 \*\*筑波大学電子・情報系

はじめに

本研究室では、ピアノ及びシンセサイザの自動演奏を中心とする総合音楽情報システム PSYCHE を開発している。このシステムでは、曲の音楽情報を音楽記述言語 EUROPA を用いて表現し、そのデータ（以下音楽データ）から生成された楽器制御用データ（以下演奏データ）に従いパソコンで楽器を制御し演奏を行う。PSYCHE は、楽器演奏の技術を計算機や機械にまかせ、個人の思うままの音楽を十分に表現できるような高度な自動演奏システムを目標としている。

さて、人間の演奏者は決して楽譜を無味乾燥に、いわゆる機械的に演奏するわけではなく、その演奏には全体的にも局所的にも音の強弱やテンポの変化など、おのおのの演奏者独特の味がつけられている。当然のことながら、すばらしい演奏を行うためにはあるレベル以上の楽器演奏技術が必要である。その

点、機械は正確さを身上としており、自動演奏においてただ音符を楽器で追いかけるだけの技術だけならば比較的容易に実現することができる。（PSYCHE でもその程度の演奏ならば実現されている。）しかし、人間が聴いて満足できるように自動演奏となると実現は非常に難しくなる。そこで、音楽性の高い自動演奏を目指して、“人間の演奏の特徴を抽出し、これを構造化して演奏データへ系統的に反映する”ということを目指して研究を進めている。

現在は、データが得やすく分析も比較的容易な、センサ付きピアノからフロッピーディスクに入力した人間の生演奏データを基に、ornament（スタッカートなど）・打鍵強度・テンポの揺れなどを解析を進めている。今回の報告では、解析手法と結果、音楽記述言語で書かれた音楽データから演奏データを生成するミュージックコンパイラへの解析結果の反映などについて述べる。

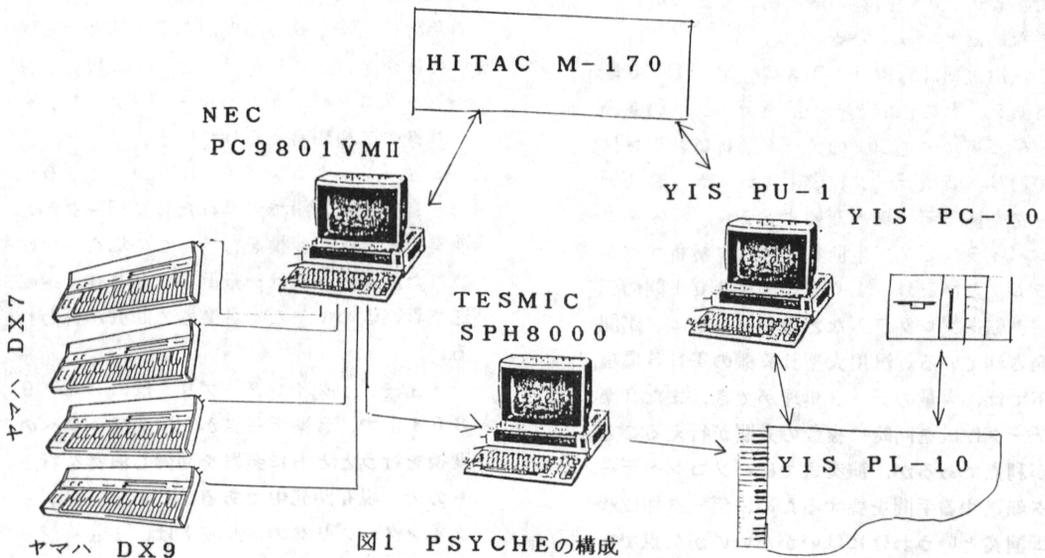


図1 PSYCHEの構成

## 1. システムの概要

PSYCHEの名称は、その目標の通り Program System-Conducted Harmony and Expression (表情・調和を指揮するプログラムシステム) に由来する。

PSYCHEの構成は現在図1のようになっており、ディジタルシンセサイザー ヤマハDX7が3台、DX9が1台、ヤマハのドライブユニット付グランドピアノ PL-10 (特注品)、PL-10のコントロールユニット PC-10、ヤマハのパソコンPU-1、計測制御用マイコンTESMIC SPH-8000、汎用パソコンNEC PC-9801VMIIなどのハードウェアと、それぞれのパソコン及び汎用大型計算機HITAC M-170上のソフトウェアなどからシステムが構成されている。

PL-10、PC-10、PU-1はヤマハのYISというシステムを構成するものである。人間がPL-10で演奏したデータはPC-10でフロッピーディスク上にイベント形式で記録される。フロッピーディスクに記録されたデータは、PC-10でPL-10をコントロールすることにより忠実に再生される。データの録音は非常に容易に行えるので、ピアノの生演奏の解析用データ採取に大きな武器となっている。

汎用大型計算機HITAC M-170は音楽データの作成とその演奏データへの変換及びピアノの生演奏のデータ解析に利用されており、音楽データ作成用エディタ、音楽データを演奏データへ変換するミュージックコンパイラ、ピアノ生演奏のデータ解析プログラム、及びPU-1やPC-9801間のデータ転送プログラムなどのソフトウェアが開発されている。汎用大型計算機のTSS環境下では、大量のデータ処理ができ、また音楽データ作成を同時に複数の人間が行えることが利点であるが、演奏までにパソコンへデータ転送する手間を要するため、データ作成後即演奏というわけにはいかないのが欠点であ

る。

M-170システム上で作成された音楽データはPC-9801へ転送される。PC-9801は演奏能力向上のために、これまで楽器を制御していたTESMIC SPH8000 (Z80Aベース) に代るものとして85年の秋に導入された。PC-9801の第一の役割は、音楽データを処理して演奏データ (MIDI規格に沿っている) に変換しそれをシンセサイザー及びドライブユニット、付ピアノPL-10を制御するTESMIC SPH8000へ送り出すことである。データ処理能力の向上、シンセサイザーとのインターフェースをパラレルにしたことなどにより、より多くのシンセサイザー合奏への拡張が可能となった。さらに音楽データ作成をPC-9801で行うことも、もちろん可能であり、DX7を利用した音楽鍵盤によるデータ入力機能が用意されている。

音楽データは、音楽記述言語EUROPAで記述される。EUROPAは曲の細かい表情まで緻密に記述できるように設計されており、思い通りの音楽データを作成することができる。しかしそのような演奏をさせるためには、音楽データを適切に演奏データへ変換できなくてはならない。そこで今回の解析の結果を音楽データから演奏データへ変換する部分に反映させる必要がある。演奏データへの変換を行うプログラムとして、現在ミュージックコンパイラとミュージックインタープリタの二種類考えられている。

ミュージックコンパイラは、M-170上で、音楽記述言語で書かれた音楽データから演奏データへの変換を行う。この場合、生成された演奏データは一旦PC-9801へ転送され、改めてそこで各楽器の制御が行われる。

ミュージックインタープリタは、PC-9801上で、音楽データから演奏データへの変換を行うとともに楽器を制御し演奏を行うもので、現在開発中である。このミュージックインタープリタのメリットは、ミュージック

クコンパイラを使用した場合に比べ、音楽データ作成から演奏までのターンアラウンドが短縮され、マンマシンインターフェースが大幅に向上することである。

## 2. 解析の手法

人間の演奏の特徴の抽出には、Y I S P C-10フォーマットのフロッピーディスクを使用する。それを使用する長所は、

1. ドライブユニット付ピアノから簡単に人間の演奏を記録できること、
  2. 著名なピアニストによるピアノ生演奏が記録されているフロッピーディスクが供給されていること、
  3. 容易にM-170へデータを転送できること、
- などである。

解析の手順は、次のようになっている。

1. Y I S P U-1上で、人間のピアノ演奏を記録したPC-10フォーマットのデータを、TSS回線で転送可能な16進キャラクタ・ファイルに変換する。(PC-10フォーマットのデータ例及びその楽譜をそれぞれ図3、図2に示す。)

2. Y I S P U-1からHITAC M-170へ16進キャラクタ・ファイルを転送する。

3. M-170上で16進キャラクタ・ファイルを、打鍵番号・打鍵キーのキーコード・打鍵時間・打鍵強度・打鍵の長さなどの情報に整理して、出力する。

4. 3のデータに、小節の切れ目、リズム、解析する音符の長さの最小単位(普通はデータ中に存在する最小の音符の長さ)などの情報を加えM-170上で処理し、3のデータに小節内の位置情報(最小単位を基準にして何番目の音であるか)を加えたデータを作成する。

5. テンポの揺れにより生じた小節内の位置情報のずれを訂正する。

6. 一音ごとに、声部及び楽譜上での音符の長さなどの情報を加え処理をする。その結果、5までの手順で作成されたデータに、楽譜に対する実際の演奏の音の長さの比・機械的に正確な位置と実際に演奏されている位置のずれの最小単位に対する百分率・小節内のテンポの揺れなどの情報が加えられた最終的な解析用データが完成する。例として、図2で掲げた曲の解析用データを図4に示す。

## メヌエット(アルレルの女より)

図2 メヌエットの楽譜(全音ピアノ名曲100選 初級編 全音楽譜出版社より)

From Cluster 081 to 089 Page 1 Address 25

Recording Time 4:06.750

Total Events 2988

Ev#	Cis	P	Df	Hexadecimal Data	Total Time	Timer	Key Number
000	081	0	00	00			** Start Mark **
001	081	0	01	04 F4 01 B2 50 04	0:02.000	2.000	D#4 080
002	081	0	07	03 0D 00 81 03	0:02.052	0.052	LdP on
003	081	0	0C	03 66 00 32 03	0:02.460	0.408	D#4 off
004	081	0	11	04 02 00 BC 39 04	0:02.468	0.008	A#4 057
005	081	0	17	03 0E 00 3C 03	0:02.524	0.056	A#4 off
006	081	0	1C	04 67 00 C2 42 04	0:02.935	0.412	D#5 066
007	081	0	22	03 10 00 42 03	0:03.000	0.064	D#5 off
008	081	0	27	04 63 00 BC 41 04	0:03.395	0.396	A#4 065
009	081	0	2D	03 0E 00 3C 03	0:03.452	0.056	A#4 off
010	081	0	32	04 65 00 C8 40 04	0:03.856	0.404	G 5 064
011	081	0	38	03 0E 00 48 03	0:03.912	0.056	G 5 off
012	081	0	3D	04 64 00 BC 3F 04	0:04.312	0.400	A#4 063
013	081	0	43	03 0D 00 3C 03	0:04.354	0.052	A#4 off
014	081	0	48	03 69 00 01 03	0:04.784	0.420	LdP off
015	081	0	4D	04 07 00 B2 4F 04	0:04.812	0.028	D#4 079
016	081	0	53	03 1E 00 81 03	0:04.932	0.120	LdP on
017	081	0	58	04 52 00 BC 3F 04	0:05.260	0.328	A#4 063
018	081	0	5E	03 01 00 32 03	0:05.264	0.004	D#4 off
019	081	0	63	03 0C 00 3C 03	0:05.312	0.048	A#4 off
020	081	0	68	04 68 00 C2 44 04	0:05.740	0.428	D#5 068
021	081	0	6E	03 0F 00 42 03	0:05.800	0.060	D#5 off
022	081	0	73	04 66 00 BC 43 04	0:06.208	0.408	A#4 067
023	081	0	79	03 0C 00 3C 03	0:06.256	0.048	A#4 off
024	081	0	7E	04 67 00 C8 48 04	0:06.668	0.412	G 5 072
025	081	0	84	03 0F 00 48 03	0:06.728	0.060	G 5 off
026	081	0	89	04 66 00 BC 48 04	0:07.136	0.408	A#4 072
027	081	0	8F	03 0D 00 3C 03	0:07.188	0.052	A#4 off
028	081	0	94	03 61 00 01 03	0:07.576	0.388	LdP off
029	081	0	99	04 06 00 D8 28 04	0:07.600	0.024	G 5 043
030	081	0	9F	04 08 00 B2 71 04	0:07.632	0.032	D#4 113
031	081	0	A5	03 17 00 81 03	0:07.724	0.092	LdP on
032	081	0	AA	04 5C 00 BC 49 04	0:08.092	0.368	A#4 073
033	081	0	B0	03 02 00 32 03	0:08.100	0.008	D#4 off
034	081	0	B5	03 08 00 3C 03	0:08.144	0.044	A#4 off
035	081	0	BA	03 37 00 58 03	0:08.364	0.220	G 5 off
036	081	0	BF	04 2C 00 D8 28 04	0:08.540	0.176	G 5 043
037	081	0	C5	04 06 00 C2 58 04	0:08.564	0.024	D#5 088
038	081	0	CB	03 17 00 42 03	0:08.656	0.092	D#5 off
039	081	0	D0	04 5A 00 BC 47 04	0:09.016	0.360	A#4 071
040	081	0	D6	03 11 00 3C 03	0:09.084	0.068	A#4 off
041	081	0	DB	04 1C 00 D5 38 04	0:09.196	0.112	F 5 059
042	081	0	E1	03 17 00 58 03	0:09.288	0.092	G 5 off
043	081	0	E6	04 1C 00 C8 50 04	0:09.400	0.112	G 5 080
044	081	0	EC	04 03 00 D2 28 04	0:09.412	0.012	D#5 040
045	081	0	F2	03 09 00 55 03	0:09.448	0.036	F 5 off
046	081	0	F7	03 12 00 48 03	0:09.520	0.072	G 5 off
047	081	0	FC	05 12 00 D5 39 52 05	0:09.592	0.072	F 5 057 D#5 off
048	081	1	03	04 33 00 BC 4E 04	0:09.796	0.204	A#4 078
049	081	1	09	04 02 00 D8 25 04	0:09.804	0.008	G 5 037
050	081	1	0F	03 0A 00 3C 03	0:09.844	0.040	A#4 off

図3 PC-10フォーマットのデータ例

voice	no.	time	key	vol	length	ratio	address	error	interval	ave	Lp	Sp
	13	0: 7.600	G 6	43	191	88.4	1	0.0	235	58	1	0
	16	0: 8.540	G 6	43	187	115.4	5	33.3	164	54	1	0
	19	0: 9.196	F 6	59	63	116.7	8	35.2	54	54	1	0
	21	0: 9.412	D#6	40	45	83.3	9	35.2	45	45	1	0
	22	0: 9.592	F 6	57	65	120.4	10	16.7	53	53	1	0
	24	0: 9.804	G 6	37	53	98.1	11	14.8	42	42	1	0
	25	0: 9.972	G#6	36	68	125.9	12	-7.4	59	59	1	0
	26	0:10.208	A#6	47	108	100.0	1	0.0	107	53	1	0
	28	0:10.636	G 6	39	121	112.0	3	-3.7	109	54	1	0
	30	0:11. 72	D#7	40	118	109.3	5	-5.6	107	53	1	0
	32	0:11.500	A#6	46	120	111.1	7	-9.3	109	54	1	0
	34	0:11.936	G 7	54	34	31.5	9	-11.1	225	56	1	0
	37	0:12.836	F 6	59	166	79.8	1	0.0	222	55	1	0
	40	0:13.724	F 6	50	170	109.0	5	21.2	165	55	1	0
	43	0:14.384	G 6	43	54	103.8	8	32.7	48	48	1	0
	45	0:14.576	F 6	62	74	142.3	9	23.1	48	48	1	0
	47	0:14.768	D#6	37	49	94.2	10	13.5	49	49	1	0
	49	0:14.964	D 6	38	40	76.9	11	5.8	44	44	1	0
	50	0:15.140	C 5	39	56	107.7	12	-11.5	59	59	1	0
	52	0:15.376	A#5	48	116	107.4	1	0.0	103	51	0	0
	53	0:15.788	D 6	38	107	99.1	3	-9.3	107	53	1	0
	55	0:16.216	F 6	50	100	92.6	5	-13.0	105	52	1	0
	57	0:16.636	D 6	37	126	116.7	7	-18.5	111	55	1	0
	59	0:17. 80	A#6	50	71	65.7	9	-14.8	225	56	1	0
	63	0:17.980	D#6	36	152	73.1	1	0.0	214	53	1	0
	66	0:18.836	D#6	32	228	109.6	5	11.5	211	52	1	0
	69	0:19.680	F 6	54	67	128.8	9	17.3	48	48	1	0
	72	0:19.872	D#6	39	51	98.1	10	9.6	50	50	1	0
	74	0:20. 72	D 6	38	56	107.7	11	5.8	42	42	1	0
	75	0:20.240	D#6	41	64	123.1	12	-13.5	63	63	1	0
	77	0:20.492	F 6	59	119	112.3	1	5.7	98	49	0	0
	78	0:20.884	G 6	36	115	108.5	3	-9.4	104	52	1	0
	80	0:21.300	G#6	37	112	105.7	5	-13.2	105	52	1	0
	83	0:21.720	A#6	43	111	104.7	7	-15.1	109	54	1	0
	85	0:22.156	C 6	49	34	32.1	9	-9.4	217	54	1	0
	89	0:23. 24	F 6	60	160	74.1	1	0.0	216	54	1	0
	92	0:23.888	F 6	56	118	54.6	5	0.0	206	51	1	0
	95	0:24.712	G 6	49	58	107.4	9	-20.4	61	61	1	0
	96	0:24.752	F 6	54	58	107.4	9	-1.9	51	51	1	0
	99	0:24.956	E 6	39	57	105.6	10	-7.4	51	51	1	0
	101	0:25.160	F 6	62	50	92.6	11	-13.0	45	45	1	0
	102	0:25.340	G 6	41	68	125.9	12	-29.6	71	71	1	0
	103	0:25.624	D#6	45	356	104.1	1	0.0	692	57	1	0
	111	0:28.392	G 6	51	169	81.3	1	3.8	222	55	0	0
	113	0:29.280	G 6	41	201	128.8	5	26.9	160	53	1	0
	116	0:29.920	F 6	72	64	123.1	8	32.7	50	50	1	0
	117	0:30.120	D#6	43	47	90.4	9	26.9	46	46	1	0
	119	0:30.304	F 6	61	60	115.4	10	15.4	51	51	1	0
	121	0:30.508	G 6	44	55	105.8	11	11.5	44	44	1	0
	122	0:30.684	G#6	42	62	119.2	12	-3.8	57	57	1	0

図4 解析用データ例

このようにして作成された解析用データを用いて次のような解析を行う。

1. ornamentの奏法について、解析用データと楽譜をつきあわせて比べる。今回は、スタッカートとスラーについて、解析を行う。
2. 打鍵強度が、声部・曲想・小節内の位置

などの違いによりどのように変化するか統計をとる。

3. テンポの揺れについて、解析用データと楽譜をつきあわせて比べる。今回は、間のとりかた・曲想や解釈のパターンと揺れる幅の関係・伴奏部の揺れ・リズムパターンと奏法などについて、解析を行う。

3. 解析結果

前章で述べた解析手法は、1曲解析するのに非常に手間を要するため、まだあまり多くの解析は行っていないが、現在までに得られた結果の中で、幾つかの例を挙げて説明をしたい。

まず ornament の奏法に関してであるが、図5はスタッカートの奏法の解析結果である。このグラフでは、縦軸に音符の実際に演奏された長さを取り、横軸でその度数を示したものである。図5-1は、タンブラン

という曲を、音符の長さに関係なくスタッカートを全てグラフに表したものである。図5-2/3は、金婚式という曲を、それぞれ四分音符/八分音符のスタッカートに分けて表したグラフである。

これらのグラフから次のような事がわかる。

1. 四分音符、八分音符を問わず、スタッカートがついている場合、実際には、同じ長さで演奏される。従って、スタッカートはついている音符には依存せず、スタッカートの音は、演奏者や曲想などによって異なる。

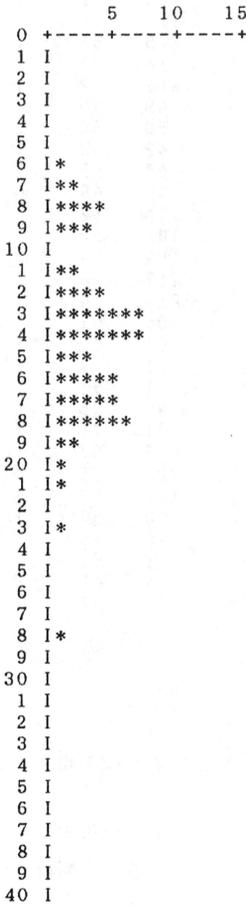


図5-1

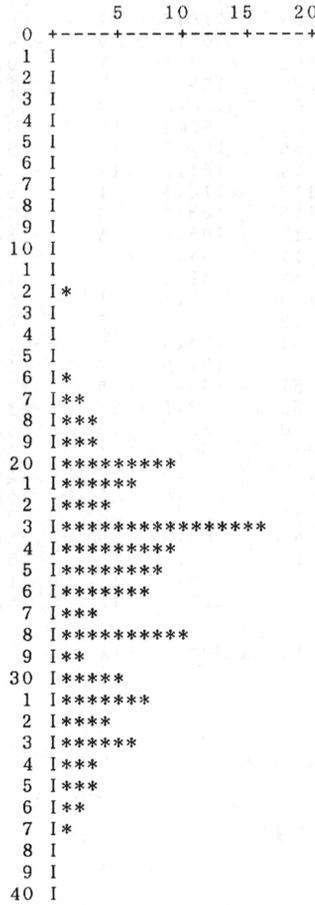


図5-2

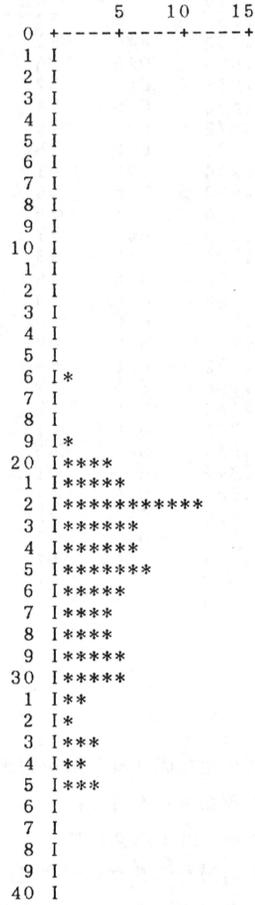


図5-3

図5 スタッカートの解析結果例

また、スラーの奏法に関しては、次のような結果を得た。

1. スラーの音符は、楽譜上の音の長さに対して、同じ音を休符をはさみず続けて弾いた場合を除きほぼ100%以上であり、音が重なって演奏されている。
2. スラーの終りの音符は、普通より短めに切る場合が多い。

次に打鍵強度に関する結果であるが、図6は、三部形式（ABAの形をしている）であるメヌエットを2小節（この曲のフレーズの最小単位）の周期で、声部別・曲想別に横軸に打鍵強度、縦軸には小節内の位置をとりその度数を表したものである。小節内の位置は、16部音符を1拍として何拍目かで表している。

addr	key	ave	1	8	16	24	32	40	48	56	64	72	80	88	96	104	112	120
1	22	58	0	0	0	1	4	2	2	2	7	1	2	1	0	0	0	0
2	6	51	0	0	0	0	1	2	2	0	1	0	0	0	0	0	0	0
3	15	57	0	0	0	1	3	1	4	0	1	3	1	0	1	0	0	0
4	9	48	0	0	0	0	2	3	3	0	1	0	0	0	0	0	0	0
5	22	47	0	0	0	1	7	3	5	4	1	0	1	0	0	0	0	0
6	3	49	0	0	0	0	0	2	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0
7	10	59	0	0	0	0	1	2	2	1	1	2	1	0	0	0	0	0
8	8	53	0	0	0	0	0	2	4	1	0	1	0	0	0	0	0	0
9	18	55	0	0	0	0	0	5	5	3	5	0	0	0	0	0	0	0
10	14	47	0	0	0	0	3	3	6	2	0	0	0	0	0	0	0	0
11	21	52	0	0	0	0	6	4	3	3	2	1	2	0	0	0	0	0
12	14	45	0	0	0	0	4	5	4	0	0	1	0	0	0	0	0	0
1	24	50	0	0	0	0	6	5	6	4	1	1	1	0	0	0	0	0
2	10	48	0	0	0	0	0	5	4	1	0	0	0	0	0	0	0	0
3	17	42	0	0	0	1	8	2	4	2	0	0	0	0	0	0	0	0
4	11	47	0	0	0	0	2	5	1	2	1	0	0	0	0	0	0	0
5	17	45	0	0	0	0	4	7	4	2	0	0	0	0	0	0	0	0
6	7	48	0	0	0	0	0	4	2	1	0	0	0	0	0	0	0	0
7	12	48	0	0	0	0	1	6	2	3	0	0	0	0	0	0	0	0
8	7	51	0	0	0	0	0	1	4	2	0	0	0	0	0	0	0	0
9	12	51	0	0	0	0	0	2	8	1	1	0	0	0	0	0	0	0
10	7	50	0	0	0	0	0	2	4	1	0	0	0	0	0	0	0	0
11	12	47	0	0	0	1	1	5	2	3	0	0	0	0	0	0	0	0
12	7	49	0	0	0	0	1	1	3	2	0	0	0	0	0	0	0	0

addr	key	ave	1	8	16	24	32	40	48	56	64	72	80	88	96	104	112	120
1	26	86	0	0	0	0	0	0	0	2	2	1	7	11	1	0	2	0
2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
3	21	69	0	0	0	0	0	0	2	4	5	8	1	0	1	0	0	0
4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
5	25	79	0	0	0	0	0	0	0	1	5	9	5	3	2	0	0	0
6	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
7	21	66	0	0	0	0	0	1	3	5	6	3	2	1	0	0	0	0
8	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
9	29	76	0	0	0	0	1	2	2	2	2	5	7	5	0	1	2	0
10	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
11	21	70	0	0	0	0	0	0	1	5	6	6	1	1	1	0	0	0
12	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1	34	80	0	0	0	0	0	1	0	3	8	6	5	6	3	0	2	0
2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
3	23	67	0	0	0	0	0	1	2	4	9	4	2	1	0	0	0	0
4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
5	25	68	0	0	0	0	0	2	0	2	15	3	1	1	1	0	0	0
6	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
7	23	63	0	0	0	0	1	4	0	6	7	3	2	0	0	0	0	0
8	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
9	26	69	0	0	0	0	3	2	0	2	3	8	5	3	0	0	0	0
10	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
11	20	68	0	0	0	0	0	0	1	6	7	2	3	1	0	0	0	0
12	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

図6 メヌエットのAの部分の打鍵強度分布 上が主旋律、下が伴奏（次項へ続く）

addr	key	ave	1	8	16	24	32	40	48	56	64	72	80	88	96	104	112	120
1	38	30	0	0	0	22	14	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
5	31	33	0	0	0	17	11	1	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0
6	4	35	0	0	0	0	3	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
7	6	37	0	0	0	0	5	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
8	4	37	0	0	0	0	3	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
9	32	37	0	0	0	14	4	7	4	3	0	0	0	0	0	0	0	0
10	4	37	0	0	0	0	3	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
11	10	45	0	0	0	0	3	4	2	0	1	0	0	0	0	0	0	0
12	4	39	0	0	0	0	3	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1	36	39	0	0	0	4	19	7	2	4	0	0	0	0	0	0	0	0
2	8	37	0	0	0	0	5	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
3	8	39	0	0	0	0	3	5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
4	12	42	0	0	0	0	7	3	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0
5	16	41	0	0	0	0	7	8	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0
6	12	41	0	0	0	0	5	5	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0
7	12	46	0	0	0	0	2	6	0	3	1	0	0	0	0	0	0	0
8	12	39	0	0	0	0	5	7	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
9	12	39	0	0	0	1	6	3	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0
10	8	36	0	0	0	2	4	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
11	8	41	0	0	0	0	4	4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
12	8	41	0	0	0	0	3	4	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0

addr	key	ave	1	8	16	24	32	40	48	56	64	72	80	88	96	104	112	120
1	28	49	0	0	0	5	5	5	3	3	3	3	0	1	0	0	0	0
2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
5	29	50	0	0	0	5	4	5	4	4	2	4	0	0	1	0	0	0
6	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
7	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
8	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
9	24	49	0	0	0	1	2	8	5	7	0	1	0	0	0	0	0	0
10	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
11	12	68	0	0	0	0	0	0	1	5	0	5	1	0	0	0	0	0
12	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1	26	48	0	0	0	1	3	11	4	4	3	0	0	0	0	0	0	0
2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
3	2	45	0	0	0	0	0	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
4	2	39	0	0	0	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
5	16	46	0	0	0	0	0	10	5	1	0	0	0	0	0	0	0	0
6	8	53	0	0	0	0	0	1	3	3	1	0	0	0	0	0	0	0
7	8	48	0	0	0	0	0	3	5	0	0	0	0	0	0	0	0	0
8	8	45	0	0	0	0	0	6	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0
9	8	46	0	0	0	0	0	5	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0
10	8	44	0	0	0	0	2	5	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0
11	8	52	0	0	0	0	1	1	4	0	2	0	0	0	0	0	0	0
12	8	53	0	0	0	0	1	2	0	4	1	0	0	0	0	0	0	0

図6 (続き) メヌエットのBの部分の打鍵強度分布 上が主旋律、下が伴奏

これらの図から、次のような解析結果を得た。

1. 旋律と伴奏を比較した場合、旋律の方がPC-10フォーマットの打鍵強度の単位で10~20程大きい。

さらにAの部分では、旋律が弱まった時に、伴奏は逆に若干強くなる傾向が見られた。但し、この場合でも伴奏が旋律より大きくなることは、ほとんどない。

2. 小節内の位置による打鍵強度の分布は、残念ながら図6からは特徴と言える程のものは、読み取れなかった。この曲の場合フレー징の最小単位は2小節であるが、Aの中には何種類かのフレー징があるため、それらが混ざりあってそれぞれの特徴が埋れてしまったようである。

次にテンポに関する解析結果であるが、図7のような表に整理してみた。横軸に小節内の位置をとり、そのテンポの揺れを1拍の長さ(msec)/4のMIN、MAX、平均値で示した。

図7は1例に過ぎないが、これらの表から得られた結果は、次の通りである。

1. 8分音符より長い音符は、かなり正確である。(この曲の場合は50~55)
2. 16分音符は、長く続く場合は正確に演奏されることもあるが、拍の表(奇数番目の小節内の位置)では速く、拍の裏(偶数番目の位置)では遅く演奏されることが多い。
3. 小節の最初と最後の音符は遅くなる。
4. 強い音符の前は間があく。
5. フレーズの終りは遅くなって終る。

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
max	58		55		58		50	54	51	53	46	71
min	50		52		51		43	47	40	46	42	49
ave	55		54		53		47	50	46	50	43	58

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
max	53		54		53		55		56			
min	49		52		52		54		54			
ave	51		53		52		54		55			

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
max	55	48	47	54	48	50	56	68	56			
min	49	42	41	50	42	48	44	56	52			
ave	51	46	44	52	45	49	47	61	54			

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
max	53	47	48	63	55					62	51	67
min	51	45	44	56	52					60	49	54
ave	52	46	46	59	54					61	50	59

図7 テンポの揺れの解析例(メヌエット)

#### 4. ミュージックコンパイラへの反映と今後の展望

高度な自動演奏の実現のために、解析結果を次のようにミュージックコンパイラの機能に反映する必要があると考えられる。

1. スタッカートやスラーなどの奏法の適切なデフォルト値の設定。
2. 音楽データから演奏データに変換する際の自動フレージング。

1は、奏法が音の前後関係による影響が少ないため、聴感上効果的なものが、比較的容易に実現可能と思われる。これからは様々な ornament の解析を行い、ミュージックコンパイラに積極的に組込んで行きたい。

2では、フレージングのパターンは多様であり、その自動化には非常に多量のデータを解析しなければ実現できないと考えられ、現在は必要な解析の端緒についてのみで、全体の見通しを立てる状態には至っていない。当面は、現在のような解析を様々な曲について行い、多くのデータを蓄積することが必要である。また、フレージング付けでミュージックコンパイラのみならず曲の解析を全て行わせ音やフレージング間の前後関係を見るのは必ずしも適当とはいえ、その解決法を考え出す必要もある。

現在のところ解析が可能なものはピアノ演奏に限られているが、本来楽器ごとに夫々異なる固有の奏法があり、シンセサイザーの合奏へ応用するためには他の楽器の演奏も解析し、ミュージックコンパイラへ組込むのが理想である。

その際問題となるのは、楽器の生演奏を解析可能なデータ例えばイベント形式のデータに変換する適当な方法がないことである。もし夫々の楽器により録音されたレコードやテープなどからデータ採取が可能になったとしても、独奏と合奏とでは、各楽器の奏法が異なるため、シンセサイザーの合奏へ応用するためには、合奏のレコードやテープから各楽

器のデータを分離して抽出しなければならない。そこで当面は、ピアノ演奏の解析結果を基にしたミュージックコンパイラでパラメータを種々変化させてシンセサイザーを演奏させて、実際の演奏と聴き比べてミュージックコンパイラを逐次改良していく方法が現実的であると考えられる。

人間の演奏は、様々な要因が絡りみあい、聴くものを感動させる。そのため、その解析は非常に奥が深く、また多量のデータについて検討する必要がある。

我々の研究は、まだほんの入口にたどり着いたばかりであるが、高度な自動演奏の実現を目指して、根気強く解析して行きたい。

#### 謝辞

本研究発表にあたり、日頃御協力いただいている筑波大学情報学類白川貴浩氏、岡秀宣氏、新藤好伯氏、松本幸子氏に感謝致します。

本 PDF ファイルは 1986 年発行の「第 27 回プログラミング・シンポジウム報告集」をスキャンし、項目ごとに整理して、情報処理学会電子図書館「情報学広場」に掲載するものです。

この出版物は情報処理学会への著作権譲渡がなされていませんが、情報処理学会公式 Web サイトに、下記「過去のプログラミング・シンポジウム報告集の利用許諾について」を掲載し、権利者の検索をおこないました。そのうえで同意をいただいたもの、お申し出のなかったものを掲載しています。

[https://www.ipsj.or.jp/topics/Past\\_reports.html](https://www.ipsj.or.jp/topics/Past_reports.html)

#### 過去のプログラミング・シンポジウム報告集の利用許諾について

情報処理学会発行の出版物著作権は平成 12 年から情報処理学会著作権規程に従い、学会に帰属することになっています。

プログラミング・シンポジウムの報告集は、情報処理学会と設立の事情が異なるため、この改訂がシンポジウム内部で徹底しておらず、情報処理学会の他の出版物が情報学広場 (=情報処理学会電子図書館) で公開されているにも拘らず、古い報告集には公開されていないものが少からずありました。

プログラミング・シンポジウムは昭和 59 年に情報処理学会の一部門になりましたが、それ以前の報告集も含め、この度学会の他の出版物と同様の扱いにしたいと考えます。過去のすべての報告集の論文について、著作権者（論文を執筆された故人の相続人）を探し出して利用許諾に関する同意を頂くことは困難ですので、一定期間の権利者搜索の努力をしたうえで、著作権者が見つからない場合も論文を情報学広場に掲載させていただきたいと思います。その後、著作権者が発見され、情報学広場への掲載の継続に同意が得られなかった場合には、当該論文については、掲載を停止致します。

この措置にご意見のある方は、プログラミング・シンポジウムの辻尚史運営委員長 ([tsuji@math.s.chiba-u.ac.jp](mailto:tsuji@math.s.chiba-u.ac.jp)) までお申し出ください。

加えて、著作権者について情報をお持ちの方は事務局まで情報をお寄せくださいますようお願い申し上げます。

期間： 2020 年 12 月 18 日 ~ 2021 年 3 月 19 日

掲載日： 2020 年 12 月 18 日

プログラミング・シンポジウム委員会

情報処理学会著作権規程

<https://www.ipsj.or.jp/copyright/ronbun/copyright.html>