

# ゲームと関連した自動作曲システムの研究

岡田健太

東京工科大学大学院メディア学研究科

本研究では、ゲームプレイヤーの一連の行為を使用したリアルタイム音楽生成の可能性を探求する。本研究は作曲の新しい方法を試みる。ゲーム理論はゲームのタイプを一般化し、ゲームプレイヤーの一連の行為とフレーズ、リズム、転調のような音楽の要素を関連付けるために用いる。一般化されたゲームのモデルとして、ゼロ和2人ゲームと非ゼロ和2人ゲームのモデルを検討する。本研究で制作した作曲システムはJava言語を利用し、リアルタイムにシンセサイザへMIDIデータを送信することによって音を生成する。

## A Game-Driven System for Automated Composition

Kenta Okada

Tokyo University of Technology Graduate School

The present thesis aims at exploring possibilities of using a series of game players' acts as an algorithm of real-time music production. It tries to present a new way of composition. Game theory is employed to generalize types of games and to make appropriate correspondences between the acts and elements of music such as phrases, rhythms, and modulations. In particular, models of two-person zero sum games and two-person non-zero sum games are examined. A system is written in Java and produces sounds by means of sequencing MIDI data to a synthesizer in real time.

### はじめに

従来の多くのゲームでは、あらかじめ用意された楽曲が場面によって切り替わり演奏されているが、場面の転換やキャラクタの成長によってリアルタイムに新たな音楽を生成することには利用されていない。ゲームは双方向性、リアルタイム処理を含んでおり、ゲームをアルゴリズムとして利用することにより、自動作曲システムは1人あるいは複数のプレイヤーとコンピュータの行動結果をリアルタイムに利用できる。これらの事柄から、本研究では、自動作曲システムのアルゴリズムとしてゲームを利用し、実際にプレイヤーがゲームをプレイしながら、その結果を反映させて作曲を行うシステムの構築を目的とする。それ故、研究を進める上でゲームと音楽の関連付けが重要な課題となった。プレイヤーがゲームをプレイして得られる結果と、作曲・音楽的な事

象に関連付けがなければ、ゲームと音楽の関係は希薄となってしまふ。そこで、本研究ではゲーム理論を適用することにより、ゲームと音楽の関連付けを行う。

ゲーム理論とは、理性的人間が、合理的と考える基準にしたがって行動したときに、導かれる結果を明らかにするための、数学的方法である。ゲーム理論は人間の意思決定や行為を一般化されたゲームとしてモデル化することができる。この数理的モデルを、ゲームといい、状況によってこのモデルはゼロ和ゲーム、非ゼロ和ゲーム、 $n$ 人ゲームなどと呼ばれる。またゲーム理論を用いることによって複数プレイヤーの行動の過程を推測することができる。本稿では、「ゲーム」という用語がTVゲームなどの一般的に呼ばれているゲームと、ゲーム理論で扱うゲームとに混同されてしまうので、TVゲームなどの一般的に呼ばれているゲームは、「ゲーム」という用語で表現し、ゲーム理論で扱うゲームは「一般化さ

れたゲーム」という用語で表現して区別する。

ゲーム理論を用いた過去の作品として、ヤニス・クセナキスの“Strategy”が挙げられる。この作品は利得表を用いてオーケストラに演奏させるための演奏手段を選択し、演奏を行う。クセナキスはオーケストラに演奏させるための演奏手段を選び出すためだけにゲームの理論を使用しているが、ゲームによって得られた利得などを、音楽と関連付けるようなことはほとんど行っていない。

本研究ではゲームとゲーム理論を組み合わせることにより、新たな作曲方法の可能性が生まれると考える。また、作曲という行為自体のモデル化も将来的に可能性があると考えられる。

### 作曲プログラムによる実証

本研究では、利得表を用いて最適な戦略を交互に選択するゲームを行い、このゲームの結果をもとにリアルタイムに音楽を変化させる自動作曲プログラムを作成した。一般化されたゲームとしてゼロ和2人ゲームと非ゼロ和2人ゲームをモデルとして利用する。この自動作曲プログラムを用いてゲームを行い、生じる変化についての考察も行った。

本研究では、戦略を入力する側は相手の戦略がわかっている状態で、交互に戦略を入力してゲームを行う。ゼロ和2人ゲームの場合は3種類、非ゼロ和2人ゲームの場合は1種類の利得表を用意している。利得表はゲームを行うときに選択することが可能である。現在利用されている利得表と相手の戦略は表示される。交互に戦略を入力し、ゲームは進行するので、プレイヤーは相手の戦略に対し最適な戦略を選択することになる。本研究では、自らが選択した戦略が相手の戦略に対して、適しているのかを最適が0、不適が3の4段階（戦略の数）で順位付けをし、その結果を用いて音楽的な変化を発生させる。プログラムを実行し生成される音楽は単旋律のメロディとコード進行に則った和音が演奏される。コード進行は一定の進行（I-II-V-I）を利用する。メロディ部分はゲームの結果によってフレーズの選択あるいはフレーズの変化により、和音1つに対しフレーズ1つの関係で組み合わせられ生成される。結果、4つの和音で構成されるので4つのフレーズで構成された楽句が生成され、繰り返し演奏される。

### ゼロ和2人ゲームを利用した例

ゼロ和2人ゲームとは、2人のプレイヤーが互いに勝ち負けを競い合う一般化されたゲームである。このゲームは、勝ちを+1、負けを-1、引き分けを0という利得に置き換えて考える場合、2人のプレイヤーの利得の和が常に0になる。このゲームで最適な戦略は、「ミニ・マックス定理」によって導かれる。

ゼロ和2人ゲームでは表1、表2、表3の3つの利得表を利用してゲームを行う。サドルポイント(鞍点)が存在する利得表とサドルポイントが存在しない利得表を用意する。

		Enemy			
		戦略1	戦略2	戦略3	戦略4
Player	戦略1	6	1	-2	-1
	戦略2	-1	0	5	3
	戦略3	3	2	4	5
	戦略4	2	-3	1	4

表1

		Enemy			
		戦略1	戦略2	戦略3	戦略4
Player	戦略1	-3	3	0	1
	戦略2	1	2	3	-5
	戦略3	5	4	-1	2
	戦略4	2	0	-4	4

表2

		Enemy			
		戦略1	戦略2	戦略3	戦略4
Player	戦略1	0	1	0	-1
	戦略2	-1	0	1	0
	戦略3	0	-1	0	1
	戦略4	1	0	-1	0

表3

表1はサドルポイントが存在する利得表である。サドルポイントは(戦略3、戦略2) = 2である。表2、表3はサドルポイントが存在しない利得表である。表3の利得表は3すくみの形を少し変化させて作成した利得表である。図1のような関係を利得表にしている。図1は強弱の関係が矢印により表現され、戦略1を考えた場合、戦略2に向かって矢印が向いているので戦略2に対して強く、戦略4から矢印が向けられているので、戦略4に対しては弱い。戦略3と戦略1(同じ戦略の場合)は無関係とする。これにより、強い場合:1、弱い場合:-1、無関係の場合:0として利得を与える。

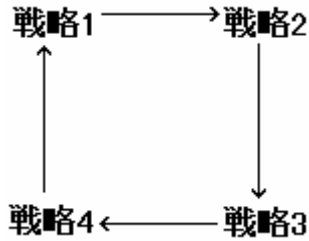


図1

上記の3つの利得表に対して、自分の選んだ戦略が相手の戦略に対して、適しているのかを最適が0、不適が3の4段階（戦略の数）で判断し、順位付けをした利得表が表4 P・E、表5 P・E、表6 P・Eである。PはPlayer、EはEnemyを対象とする。

		Enemy			
		戦略1	戦略2	戦略3	戦略4
Player	戦略1	0	2	3	3
	戦略2	3	1	0	2
	戦略3	1	0	2	0
	戦略4	2	3	1	1

表4 P

		Enemy			
		戦略1	戦略2	戦略3	戦略4
Player	戦略1	3	2	0	1
	戦略2	0	1	3	2
	戦略3	1	0	2	3
	戦略4	2	0	1	3

表4 E

		Enemy			
		戦略1	戦略2	戦略3	戦略4
Player	戦略1	3	1	1	2
	戦略2	2	2	0	3
	戦略3	0	0	2	1
	戦略4	1	3	3	0

表5 P

		Enemy			
		戦略1	戦略2	戦略3	戦略4
Player	戦略1	0	3	1	2
	戦略2	1	2	3	0
	戦略3	3	2	0	1
	戦略4	2	1	0	3

表5 E

表3はひとつの戦略に対して、利得として0が与えられている部分が2つある。これは戦略の強弱関係が無関係の場合である。本研究では、この場合、Playerから考えたとき、相手との戦略の関係が同一の戦略のときより、相手との戦略の関係が異なるときをより良いと判断して順位付けを行う。Enemyの戦略を戦略1として考えた場合、(戦略1、戦略1)よりも(戦略3、戦略1)のほうがより良いと判断

する。これは表6 P・Eで反映される。

		Enemy			
		戦略1	戦略2	戦略3	戦略4
Player	戦略1	2	0	1	3
	戦略2	3	2	0	1
	戦略3	1	3	2	0
	戦略4	0	1	3	2

表6 P

		Enemy			
		戦略1	戦略2	戦略3	戦略4
Player	戦略1	1	3	2	0
	戦略2	0	1	3	2
	戦略3	2	0	1	3
	戦略4	3	2	0	1

表6 E

音楽的な変化についてCase0、Case1、Case2の3つのケースを用意し、これまでに示した利得表を用いて、実際にゼロ和2人ゲームでゲームを行った。

Case0ではゲームの結果によって、フレーズの選択を行う。あらかじめプログラムに用意されるフレーズが最適な戦略を選ぶことによって、組み合わせられ、楽句として構成され、繰り返し演奏される。最適な戦略を選択するとコード進行にあったフレーズが選択される。楽句は4つのフレーズから構成され、戦略に対する順位によって決定される。1つ目のフレーズはPlayerの結果（順位）、2つ目はEnemyの結果、3つ目はPlayerの結果からEnemyの結果を差し引いた値の絶対値によって、フレーズが選択される。4つ目は楽句の終わりとして一定のフレーズを与えるため変化しない。すべての結果が最適な順位である0のとき、プログラム実行時と同様のフレーズが演奏される。0以外の値になったときには他のフレーズが選択され演奏される。このとき、選択されるフレーズは異なる和音のフレーズなので非和音が演奏される場合がある。また、同じフレーズが連続して演奏される場合もある。このケースでは選択するフレーズの数が少ないのとフレーズ同士の関連付けを行っていないので、突発的な変更になった。より多くのフレーズを用意し、フレーズの結びつきに対し関連性を持たせることによって、より面白い変更が可能になるのではないかと考えられる。

Case1ではゲームの結果によって、フレーズを変化させる。Case0と同様に、楽句は4つのフレーズから構成され、戦略に対する順位によって決定する。1つ目から3つ目はCase0と同じだが4つ目は1つ目の結果と同様の変化が発生する。順位が1のとき

元のフレーズの逆行、2 のとき元のフレーズの反行、3 のとき元のフレーズの逆行の反行に変化する。

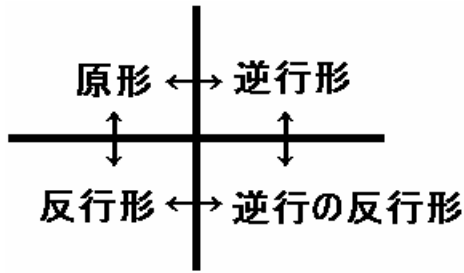
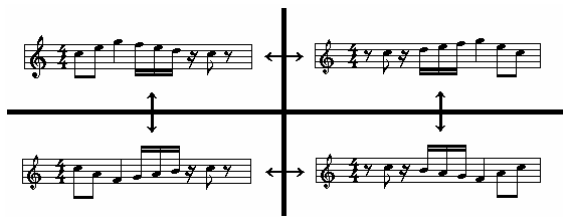


図2



譜例1

それぞれの変化について図・譜例を用いて簡単に解説する。図2はそれぞれの変化の関係を図で表したものである。十字に引かれている線に対して線対称に考えることによってそれぞれの形に変化する。譜例1は図2の変化を譜例で表現したものである。

すべての結果が最適な順位である0になったとき、原形のまま演奏される。0以外の値になったときにはフレーズを変化させる。このとき、フレーズが変化することにより、非和声音が生じる。フレーズによっては休符から演奏される場合があり、不安定なリズムが発生する。コードの安定したリズムとフレーズの不安定なリズムにより、音楽の進行力が増すと考えられる。

Case2ではゲームを実行した結果によって、転調を行う。フレーズの変化は発生しないが、プログラムに用意されているフレーズが調性で異なるので、調性によって演奏される楽句も異なる。転調は表7の利得表を利用して行われる。PlayerとEnemyの戦略の順位が交差した部分の調に転調が行われる。転調先の調は属調、下屬調、3度調、同主調、平行調である。

		Enemy			
		0	1	2	3
Player	0	変化無し	属調	3度調	平行調
	1	下屬調	同主調	属調	3度調
	2	3度調	下屬調	同主調	属調
	3	平行調	3度調	下屬調	変化無し

表7

属調への転調は主音の5度上への移動が明確に聴き取れる。和音進行のS進行に該当し、緊張感や展開感を感じさせる。進行力が保持され、音楽の成長を促すもので、本質的に、展開・発展を意味する。下屬調への転調は主音の5度下への移動が明確に聴き取れる。和音進行のD進行に該当し、安定感の産出を目的とする転調法である。目的調に到達したかのような安定感が生み出される。その反面、音楽の高揚がそがれたり、進行力が弱まったりする傾向がある。3度調への転調は共通和音や転義した和音を使わずに、調号の異なる3度上下の新調へ直接転調する手法で、平行調への転調は3度転調に加えない。属調や下屬調への転調に見られるような緊張と弛緩といった明快な目的はもち得ないが、繊細な内面描写を行うには不可欠な転調法である。同主調への転調は、C-Major → c-minor、g-minor → G-Majorのように主音を同じくする長調・短調が接続される転調である。この転調は主音が同じであるために、音空間の中心は動かない。つまり大きな変化は感じられないが性格が変わる。平行調への転調は、基本的に共通音の使用と主音を共有する2つの調関係であり、これまで説明した転調の形態とは、変化の度合いが小さいが、性格の変化が生み出される。

音楽的な変化はCase0、Case1よりも認識しやすいと考えられる。しかし、ゲームの結果と音楽的な変化が結びつくが、転調の発生が突発的な変化になってしまう。演奏自体は定められたフレーズが繰り返し演奏され、フレーズの変化が起こらないことにより認識しやすいと考えられる。ただし、Enemyの戦略が相手の戦略に対して最適な戦略しか選択しないので、0以外の値には変化しないことが問題点である。この問題は利得表の変更、あるいはEnemyの戦略の決定方法を変更することによって、改善されると考えられる。

すべてのケースで最適な戦略を選択し続けることによって、同じフレーズが繰り返し演奏されてしまい、聞き手は退屈になる。それを回避するために最適でない戦略を選択することによりフレーズに変化をつける。しかし、この場合も突発的に変化が起こる。変化をさせるために何らかの関係性を間に挟まないこのような突発的な変化になる。ある程度繰り返しが行われた後に、変化が発生するようにすると聞き手に飽きさせずに聞かせることができ、また音楽的に面白くなるのではないかと考えられる。あ

るいは逆のパターン（最適なときに変化を発生させる）を試みるのもひとつの考えである。

### 非ゼロ和2人ゲームを利用した例

本研究では、ロールプレイングゲーム（RPG）の戦闘部分を例として、非ゼロ和2人ゲームの考察を行う。このRPGの戦闘部分とは実在するゲームで例えるならば、『ドラゴンクエスト』のコマンドを入力するような戦闘部分である。有限の戦略が定められており、その中から選択していくという形式は、ゲーム理論で行うゲームと同様であると考えられる。表8、表9、表10の利得表を利用し、ゲームを行う。これらの利得表は以下の規則を与えて作成する。

- 攻撃は魔法を唱えさせずにダメージを与えられる。
- 防御は魔法を跳ね返しダメージを与えられる。
- 魔法は回復をさせずにダメージを与えられる。
- 回復は攻撃のダメージ以上に回復できる。
- ダメージ量は攻撃：3、魔法：4である。防御：2（魔法を跳ね返したとき）。

		Enemy			
		攻撃(0)	魔法(1)	防御(2)	回復(3)
Player	攻撃(0)	(3, 3)	(3, 0)	(0, 0)	(3, 0)
	魔法(1)	(0, 3)	(4, 4)	(0, 2)	(4, 0)
	防御(2)	(0, 0)	(2, 0)	(0, 0)	(0, 0)
	回復(3)	(0, 3)	(0, 4)	(0, 0)	(0, 0)

表8

表8はダメージ量だけについて表現した利得表である。この利得表では括弧の中に2つの値を与える。左側の値はPlayerが得る利得、右側の値はEnemyが得る利得である。ゼロ和2人ゲームの時の利得表とは異なり、Enemyの値の符号はそのままの符号で扱う。

		Enemy			
		攻撃(0)	魔法(1)	防御(2)	回復(3)
Player	回復(3)	5	0	3	1

表9

表9は戦略として「回復」を選んだときにどれくらい回復するか(回復量)を表現した利得表である。この利得表はPlayerを基本に作成しているが、PlayerとEnemyを入れ替えることによって、Enemyの利得表としても扱える。上記の規則を元に回復量を決定する。相手の戦略が「攻撃」の場合はダメージ量との差し引きによって値が決まる。

表10はダメージ量(表8)と回復量(表9)を組

み合わせて作成した利得表である。符号がついていない値は相手へのダメージ量を示し、“+”の符号がついている値は自分が回復する回復量を示す。「回復」と「攻撃」が交差している部分は差し引きによって値が決定される。Playerの戦略を「回復」、Enemyの戦略を「攻撃」とするとき、回復量を加えた場合は(0, 3)になる。この値のEnemyの“3”はPlayerにとっては“-3”となるので、Playerの値は回復量を加えると“5-3=2”となる。よって表10では(+2, 0)という値となる。

		Enemy			
		攻撃(0)	魔法(1)	防御(2)	回復(3)
Player	攻撃(0)	(3, 3)	(3, 0)	(0, 0)	(0, +2)
	魔法(1)	(0, 3)	(4, 4)	(0, 2)	(4, 0)
	防御(2)	(0, 0)	(2, 0)	(0, 0)	(0, +3)
	回復(3)	(+2, 0)	(0, 4)	(+3, 0)	(+1, +1)

表10

非ゼロ和2人ゲームの場合もゼロ和2人ゲームと同様に上記の利得表に対して、自分の選んだ戦略が相手の戦略に対して、適しているのかを最適が0、不適が3の4段階(戦略の数)で判断し、順位付けをした利得表が表11 P・Eである。PはPlayer、EはEnemyを対象とする。表11は戦略の優先順位を考える上で、1番目に自分が回復すること、2番目に自分が受けるダメージ量が少ないこと、3番目に相手へ与えるダメージ量が多いことを前提とする。ただし、相手が戦略として「回復」を選んだ場合は、相手へダメージを与えることが最適な戦略と考える。

		Enemy			
		攻撃(0)	魔法(1)	防御(2)	回復(3)
Player	攻撃(0)	2	0	2	2
	魔法(1)	3	2	3	0
	防御(2)	1	1	1	3
	回復(3)	0	3	0	1

表11P

		Enemy			
		攻撃(0)	魔法(1)	防御(2)	回復(3)
Player	攻撃(0)	2	3	1	0
	魔法(1)	0	2	1	3
	防御(2)	2	3	1	0
	回復(3)	2	0	3	1

表11E

ゼロ和2人ゲームと同様に音楽的な変化について3つのケースを用意し、これまでに示した利得表を用いて、実際に非ゼロ和2人ゲームでゲームを行った。Case0、Case1、Case3ともゼロ和2人ゲームのときと同様の音楽的な変化でケースわけをしてい

る。結果はCase0、Case1、Case3ともにゼロ和2になるように、戦略を選択するので、結局同じところに落ち着いた。

## おわりに

ゲームと音楽を関連付けるためにゲーム理論を適用したが、相手の選択した戦略に対する自分の選択した戦略がどの順位にあるかの順位付けを着目点に置いてしまい、ゼロ和2人ゲームでも、非ゼロ和2人ゲームでも、同じような結果になった。これは、順位付けをまとめた利得表を最終的に用いて結果が出されるためである。これにより、戦略を選択するための利得表はあまり意味を成さないものになった。また、相手側の戦略の選択方法が、自らにとって利得が最適になる戦略を選択するということになっていたので、こちらがどのような戦略を選択しようとも、毎回、同じ結果（利得が最適な戦略＝順位が最適な戦略）に落ち着いた。意図的に最適でない戦略を選択することによって楽句を生成したが、この楽句は非和声や不安定なリズムが発生し、和音と組み合わせることにより、最適な戦略を選択した場合よりも変化が生じた。ただし、この変化も突発的な変化で、良い場合もあれば悪い場合もある。最適な戦略を選択したときに変化がないので、ある程度繰り返しが行われた後に、変化が発生するようにすると音楽的に面白くなるのではないかと考えられる。あるいは逆パターンを試すのもひとつの考えである。

戦略の選択方法を工夫することによって、より面白い音楽になる可能性がある。相手側の戦略の選択方法に思考回路を利用することもゲームと関連してより面白い作曲が可能になるのではないかと考えられる。本研究ではコンソール上で値を入力するような簡単なゲームであるが、実際のゲームでは複数の選択肢が存在し、より複雑なアルゴリズムを作成することができるのではないかと考えられる。

本研究で行った実験は、アクションゲームに適用できるのではないかと考える。なぜなら、アクションゲームでは障害物の配置が決まっており、その障害物をプレイヤーが攻略していくからである。これは相手の戦略に対して自分の戦略を選択するという部分が本研究での実験と似ているからである。また、非ゼロ和2人ゲームで例として扱ったRPGの戦闘

人ゲームと同様の結果になった。戦略の順位が最適部分にも適用できるのではないかと考えられる。本研究では一般化されたゲームを扱っているので多くのゲームで適用できる可能性があるのではないかと考えられる。

今後、ネットワークを介した複数のプレイヤーによるゲームがより発展していくことにより、複数のプレイヤーが存在する状況をモデルとしたn人ゲームなどをアルゴリズムとして利用したりリアルタイムな自動作曲に応用の可能性があるのではないかと考えられる。自動作曲のアルゴリズムとしてゲームを扱うことは、作曲の可能性も広がり、加えてゲームの可能性も広がるのではないかと考えられる。

## 参考文献

- 1) Dodge, Charles and Thomas A. Jerse. *Computer Music*. Schirmer Books, New York, 1997.
- 2) Xenakis, Iannis. *Formalized Music*. Bloomington and London: Indian University Press, 1971.
- 3) カーティス・ローズ (青柳龍也 (他) 訳) 『コンピュータ音楽』 (歴史・テクノロジー・アート) 東京電機大学出版局, 2001.
- 4) 大村哲弥 『演奏法の基礎 レッスンに役立つ楽譜の読み方』 春秋社, 1998.
- 5) 岡田章 『ゲーム理論』 有斐閣, 1996.
- 6) 清水武治 『「ゲーム理論」の基本がよくわかる本』 PHP 文庫, 2003.
- 7) 鈴木光男 『ゲーム理論入門』 共立出版, 1981.
- 8) 鈴木光男 『新ゲーム理論』 勁草書房, 1994.
- 9) 鈴木光男 『ゲーム理論の世界』 勁草書房, 1999.
- 10) 西田俊夫 『ゲームの理論』 日科技連出版社, 1973.
- 11) 武藤滋夫 『ゲーム理論入門』 日本経済新聞社, 2001.
- 12) 絹川唯史 『非協力ゲーム理論を応用したアルゴリズム作曲』 慶應義塾大学修士論文, 2003.
- 13) 中山幹夫のホームページ  
<http://www.econ.keio.ac.jp/staff/nakayama/index.html>