

Marble: 遠隔協調楽曲編集による作曲支援システム

木村 昌樹^{†1} 大平 雅雄^{†1} 松本 健一^{†1}

近年, DTM (Desktop Music) ソフトウェアが, 作曲初心者やプロミュージシャンまで, 作曲スキルを問わず広く利用されている. DTM ソフトウェアは, 作曲に必要な楽譜の編集機能や自動演奏機能を有したソフトウェアである. 既存の DTM ソフトウェアの多くは, 主に個人の作曲を支援するものである. そのため, オンラインで複数人による協調作曲を行う場合, 作曲者の曖昧な楽曲のイメージを共有するために必要な相互理解の手段がなく, 楽曲の制作に困難が伴う. 本研究ではこの問題を解決するために, リアルタイム協調作曲支援システム Marble を提案する.

Marble: A Communication Support System for Real-time Collaborative Music Creation

MASAKI KIMURA,^{†1} MASAO OHIRA^{†1}
and KEN-ICHI MATSUMOTO^{†1}

In recent years, computer music software has been widely used from novice users to professional musicians. It provides users with the ability to compose that perform and publish digital music. Most of current computer music software mainly focuses on supporting a music creation process of an individual user. Collaboratively creating digital music online is very difficult, because users have no means to communicate and negotiate to share an ambiguous musical idea among users, which is inevitable in collaborative music composition in nature. In this paper We propose a communication support system for real-time collaborative music creation, so called Marble.

1. はじめに

近年, DTM (Desktop Music) による音楽創造活動が盛んに行われている. DTM ソフトウェア (以降では簡単化のため DTM とする) とは, 計算機上の楽譜にユーザが音符を配置することで作曲 (楽譜データを作成) し自動演奏するためのソフトウェアである. この楽譜作成と自動演奏は主に 2 つの利用目的がある. 利用目的のひとつは伝達である. 作曲過程のなかで, 楽譜の編集や自動演奏を行うことで個人のイメージとして内在する楽曲を, 楽譜や音として外在化し, 自分または他人に伝達することができる. もうひとつの利用目的は内省である. 作曲過程での中間的産物について考察し, その後の楽曲の構成や修正案について指針を立てる際に利用する.

DTM を利用した作曲は, 現実世界の楽器演奏によるオーディオ録音とは異なり, 複数の楽器の楽譜を音符一個単位で編集することができ, 個人で何度でも修正と確認ができるという長所がある. このため, 作曲の効率化や不足楽器の補完などを目的として作曲初心者からプロミュージシャンまで幅広いユーザに利用されている. 加えて, 作成した楽譜データをネットワークを介してやりとりすることで, 空間の制約を超えた複数人での協調作曲が可能であるという長所がある. 特に, DTM 初中級ユーザは特定の楽器パートの作曲知識は有しているが他の楽器パートの作曲知識が不足している場合が多く, 不足する知識を複数人のユーザが互いに補い合うことで個人の作曲知識のみでは不可能だった楽曲を作曲可能にするという点で, DTM を利用した遠隔地間での協調作曲は有用である.

しかし, 協調作曲においては対面/非対面, DTM 使用/非使用に関わらず, 作曲家間での楽曲イメージの共有には困難が伴う. 作成しようとする楽曲に対するイメージには曖昧さが含まれる^{1),2)} ことに加え, 楽曲イメージを伝達するために用いる言葉 (言語) にも曖昧さが残る³⁾ ためである. 現状の DTM を用いたオンラインでの協調作曲では, 作曲家らはメールや IRC (Internet Relay Chat) を用いて楽譜データを共有し, 楽譜データに対する意見や要望を言語的に伝達し合うのみである. 結果的に, 楽譜データの修正や微調整, 代替案の作成を何度も繰り返す必要が生じ, 作曲家間で納得のいく楽譜データができ上がるまでには多くの時間と労力を必要とする.

このように, DTM を用いたオンラインでの協調作曲は, 複数の領域知識や技術を要する問題を複数人が互いに補完しあうことで解決できるようになる (Symmetry of Ignorance)^{4),5)} という, グループ全体として発揮される創造性 (Social Creativity)⁶⁾ を活用できる. 一方で, DTM には楽曲イメージの伝達におけるコミュニケーションの問題により, バンドメン

^{†1} 奈良先端科学技術大学院大学 情報科学研究科

Graduate School of Information Science, Nara Institute of Science and Technology

バーが集まり意見を出し合いながら楽曲のイメージを擦り合わせ、徐々に楽曲を完成させていくといった創造的な音楽創作過程が十分に再現できないという課題が存在する。そこでこれらの問題を解決することを目的として、本研究では遠隔協調楽曲編集による作曲支援システム Marble を提案し、比較実験を通じて Marble の有用性を確認する。

続く 2 章では複数人による作曲の支援に関する先行研究を述べる。3 章で DTM によるオンライン協調作曲の課題と支援のための要件をまとめ、4 章において支援システム Marble を提案する。5 章では Marble の有用性を確認するために行った比較実験について述べる。6 章で実験結果の考察を行い、最後に 7 章で本研究のまとめと今後の課題について述べる。

2. 関連研究

複数による作曲活動支援を目的とする研究は、個人の作曲活動支援を目的とする研究⁷⁾⁻¹⁰⁾と比較して数は少ないが、一般クリエイターらによる音楽および動画のオンラインでの配信が盛んに行われている現状を鑑みると、今後の研究成果が期待されている領域であると言える。これまで、アノテーションが付加された楽曲断片をユーザが加工し、それらをユーザ間で共有することで協調作曲を支援するシステム¹¹⁾や、ユーザ間で議論しながら二次元チャット上に楽曲断片を配置し楽曲を完成させていくためのインタフェース¹²⁾などが提案されている。楽曲断片をベースに楽曲を完成させていくというこれらの研究のアプローチは協調作曲作業の簡便化には有効な方法であるが、曖昧性を含む楽曲イメージを徐々に完成させていくといったプロセスを支援するためには粒度が粗いものと言える。本研究で提案する Marble は楽曲イメージの正確な伝達に重きを置いているため、DTM による作曲において一般的に利用されているピアノロールインタフェースを備えているのが特徴である。

また、商用のオンラインサービスとして類似するシステムの運用を始めているものとしては、Yourself Music¹³⁾や Noteflight¹⁴⁾、音造¹⁵⁾などがある。これらのサービスにはオンラインで作曲するためのインタフェースを備え、作曲された楽曲を他のユーザが編集する機能や楽曲に対してコメントする機能などがあり、オンラインでの協調作曲の一形態と捉えることができる。現時点ではオンライン上のユーザ同士で楽曲を作成する「楽しみ」が重視されたものとなっており、楽曲のイメージの伝達やコミュニケーションプロセスの支援に重きを置く本研究とは目的が大きく異なる。しかしながら、実装されているインタフェースやインタラクション方法の完成度は高く、提案システムを設計する上では参考になるものである。

3. オンライン協調作曲

本章では、本研究で取り扱う DTM によるオンライン協調作曲の現状と課題について述べ、支援システム構築のための要件を定義する。

3.1 オンラインでの協調作曲過程

本研究は、DTM を用いてオンラインで協調作曲を行う遠隔地間のグループを支援対象としている。一般に、DTM による協調作曲では、楽譜データをメールや IRC を介してやりとりしながら、各楽器パート担当者がそれぞれの楽器パートの楽譜を作成し、それらをつなぎ合わせて楽曲の完成を目指す。楽器パート担当者とは、担当する楽器の演奏方法や作曲方法についての専門性を有する人物（ここでは担当以外の楽器についての専門的知識は持たないものとする）である。特に DTM 初中級ユーザには特定の楽器の演奏および作曲方法は熟知しているが、他楽器については知識が不足している場合が多く見受けられる。このような、各楽器パート担当者が互いの知識や技能を補完し合うことで個人では作曲不可能であった本格的な楽曲を作曲しようとするグループが本研究の支援対象である。

上述のグループによる一般的な作曲過程を以下に示す。ここでは簡単化のために、グループのメンバーは主旋律（例えばピアノ）担当者と伴奏（例えばギター）担当者の 2 人のみとしている。

手順 1. 主旋律担当者は、構想した楽曲全体のイメージに基づいた主旋律を作曲後、伴奏担当者に主旋律を含んだ楽譜データを送信する。

手順 2. 同時に主旋律担当者は、楽曲全体のイメージおよび主旋律にふさわしいと思われる伴奏のイメージを伝え、伴奏担当者に伴奏の作曲を依頼する。

手順 3. 伴奏担当者は、主旋律担当者の要望に基づいて伴奏を作曲し、楽譜データを主旋律担当者に返信する。

手順 4. 主旋律担当者は、受取った楽譜データを試聴し当初描いていたイメージと違っていれば手順 2 に戻る。

手順 2 と手順 3 において、主旋律担当者の要望通りの伴奏が得られれば作曲はスムーズに進むが、実際には多くの場合、要望通りとはならず手順 2 と手順 3 を何度も繰り返すこととなる。結果として、グループメンバー全員が納得のいく楽曲ができ上がるまでには多大な時間と手間が必要となる。次節ではこの原因について詳述する。

3.2 オンライン協調作曲の課題

主旋律担当者はまず、作成した主旋律に対して期待する伴奏をイメージし、言語化して伴

奏担当者にメールやチャットシステムを用いて伝える。しかし、伴奏のイメージは多くの場合、伴奏作曲知識の不足している主旋律担当者にとっては漠然としたものや曖昧なものになりやすい。さらに、主旋律担当者は伴奏の演奏技法などの楽器知識がないため、元々曖昧性を含む伴奏イメージの言語化の際には情報が欠落しがちである。結果として、主旋律担当者が言語化して伴奏担当者に伝える伴奏のイメージは、主旋律担当者の思考を正確に表したものととはならないことが多い。

伴奏担当者は、主旋律担当者から伝えられた曖昧性を含む言語化された伴奏のイメージと主旋律（楽譜データ）から主旋律担当者が期待している伴奏をイメージする。このとき伴奏担当者は、自身の音楽知識や経験に基づいて欠落している情報を補ったり具体化したりする。しかし、伴奏担当者の音楽知識や経験は、専門性の違いから主旋律担当者とは異なるものであることが普通である。結果として、伴奏担当者が抱く伴奏のイメージは、主旋律担当者の伴奏のイメージと異なるものになってしまい主旋律担当者の期待した伴奏は容易には得られない。

互いの専門性や背景知識の違いから意図を正しく伝達することができず、相互理解が困難となる状況は日常生活でもしばしば経験することである^{16),17)}が、音楽という創造的産物の協創過程においては顕著にこの問題が現れる。作曲者は曖昧性を含む楽曲イメージから自身の音楽知識や経験に基づいて意識的または無意識的に音の強さといった表情付けを行いながら楽曲を作成していく^{1),2)}ため、音楽知識や経験を他者へ正確に言語化し表現するのは困難である。また、意図を伝達するために用いる言語そのものにも曖昧性を含むことが多い³⁾ため、楽曲イメージの共有はさらに困難さを増す。

3.3 オンライン協調作曲支援のための要件

コミュニケーションの収束モデル (Convergence Model of Communication)¹⁷⁾で説明されるように、相互理解は繰り返しのコミュニケーションを通じて漸次的に構築されるものである。特に、専門性や背景知識の異なる人々による協調作業では、課題や問題に共に取り組む中で人々の専門性や背景知識が自然に表出（コンテキストが共有）され、ステークホルダの間で徐々に相互理解が構築されるようなコミュニケーション支援環境が必要である¹⁸⁾。

この指針にしたがって Arias らは、都市計画を例として、専門性や立場の異なる複数のステークホルダ（住民、行政担当者、デザイナーなど）の間のコンテキストの共有を助け、都市計画という協調作業を支援する計算機環境 EDC (Envisionment and Discovery Collab-

oratory)¹⁹⁾を提案している。EDC は特に、テーブルトップインタフェース*1の上に、建物などの物理的なオブジェクトを配置し計画中の都市設計についての議論を繰り返すことで、コンテキストを共有しつつ徐々に相互理解を深めることを可能にしている。

音楽創造における協調作曲においても、楽曲イメージを共有するためには音楽知識や専門性の違いを相互に理解し、協調的にアイデアを創出しながら楽曲を完成させていく必要がある。本研究では以下の要件を満たす、オンライン協調作曲のためのコミュニケーション支援システムの構築を目指した。

要件 1. 外在化された楽曲イメージが共有できること。

要件 2. 作曲過程がお互いに見えること。

要件 3. リアルタイムに楽譜を共同編集できること。

要件 1 は、協調作曲を行う際にはまず、互いの楽曲イメージを具体的な形で外在化し共有する手段として作成された楽譜データを可視化する必要がある。従来システムでもピアノロールインタフェースなどが採用され、視覚的に楽曲イメージの把握を助けている。要件 2 は、作曲という思考過程の一部を具体的な形で外在化および共有することでコンテキストの共有を促し、音楽知識や専門性の違いを相互に理解するために必要な要件である。従来システムでは、作成された静的な楽譜データを可視化するのみであり、作曲者の思考過程を伺い知することは困難であった。作成中の楽譜データを時系列に記録することで作曲過程の動的な可視化が可能になる。要件 3 は、リアルタイムに互いの楽譜の微調整や修正を行う中で作曲中の楽曲イメージの「擦り合わせ」を円滑に行うために必要となる要件である。適宜必要に応じて楽曲イメージの「擦り合わせ」が容易にかつ繰り返し行える手段を提供することで、楽曲イメージに対する相互理解が徐々に構築され、協調作曲者全員が納得のいく楽曲を完成させることが可能になる。

本研究では、上記の 3 つの要件を満たすために、リアルタイム共同編集が可能なピアノロールインタフェースを採用した支援システム Marble を実装した。次章では、Marble およびインタフェースについて詳述する。

4. Marble: リアルタイム協調作曲支援システム

本章では、オンラインでの協調作曲におけるコミュニケーション支援に必要な要件に基づ

*1 正確には、タッチセンター付の電子ホワイトボードの上に、天井に吊るしたプロジェクタから各種シュミレーションを投影するという表示表法をとる。近年主流のタッチパネル式のテーブルトップインタフェースとは異なる。

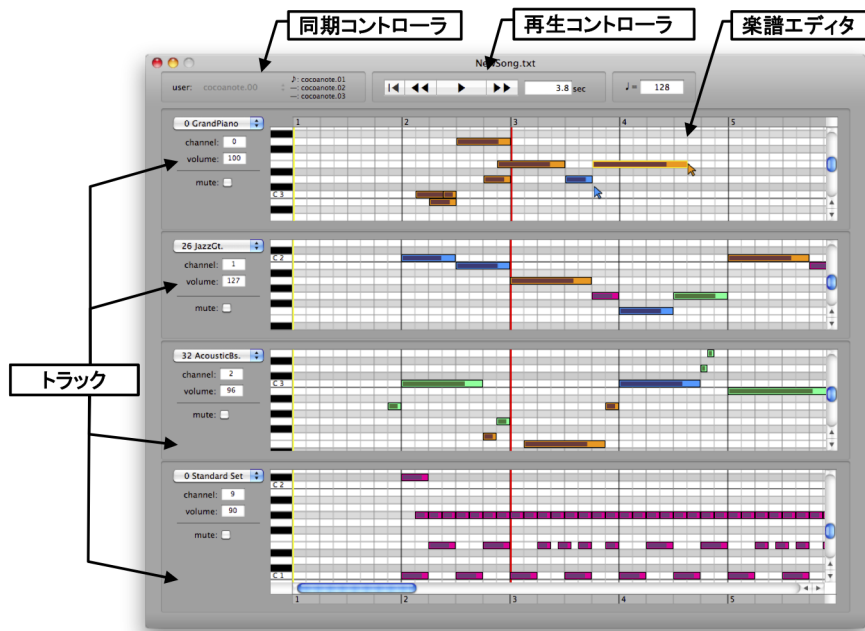


図 1 Marble のインターフェース
Fig.1 Interface of Marble

いて構築したシステム Marble について述べる。以降、4.1 節で提案システムについて概説し、4.2 節で楽譜データをリアルタイムに同期する方法を説明する。

4.1 システム概要

Marble は、楽譜データを複数ユーザ間でリアルタイムに同期させることができるシステムである。ユーザが楽譜データを変更すると他のユーザの楽譜データにも即座に変更が反映される。

図 1 に Marble のインターフェースと各部の名称を示す。Marble は、自動演奏を制御する再生コントローラ、楽器パートを編集するトラック、楽譜データの同期を制御する同期コントローラの 3 つのインターフェースで構成されている。再生コントローラとトラックは、一般的な DTM ソフトウェアが有している機能やインターフェースを踏襲している。

トラックは、楽器の音色や音量を変更する機能および楽譜を編集する楽譜エディタを備え

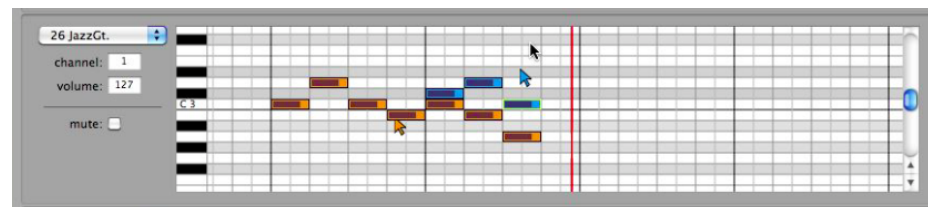


図 2 楽譜エディタ上に共有された楽譜データとテレポインタの様子
Fig.2 Score Data and Telepointers on Score Editor

ている。楽譜エディタは、ピアノロールと DTM ソフトウェアで広く利用されているインターフェースである。ピアノロールは、縦軸に音階、横軸に発音タイミングと音の長さを表すインターフェースである。ピアノロールを用いることで、音階や音の長さ、音の強さを視覚的に把握することができ、楽譜データとして外在化された楽曲イメージを共有することができる(要件 1)。

楽譜エディタ上での操作はネットワークを介してリアルタイムに同期させることができる(要件 2)。互いの作曲過程をリアルタイムに閲覧することができるため、音楽知識や専門性の違いが反映されやすい他者の作曲方法を伺い知ることができる。加えて、楽譜エディタ内に他のユーザのマウスポインタを表すテレポインタを表示し、現在どこを作業しているかをユーザ間で把握しやすくしている。また、楽譜エディタ上では、他のユーザの作曲過程を閲覧可能なだけでなく、作曲過程に介入する(楽譜の共同編集)ことが可能である(要件 3)。

図 2 に楽譜データを共有し共同で楽譜編集を行っている様子を示す。楽譜エディタ上には、音符(四角の元素)とユーザのマウスポインタおよび楽譜データを共有する他のユーザのテレポインタが表示される。音符とテレポインタにはユーザごとに固有の色が割り振られる。音符の内側にあるバーはベロシティバーと呼び、音の強さをバーの長さで表現している。

4.2 楽譜データの同期方法

Marble は、楽譜データをクライアント間で逐次送受信することで複数人の楽譜データを同期させる。同期対象のデータはユーザが楽譜データに変更を加える項目であり、具体的には音符の追加、音符の編集(音の発生タイミング、音の長さ、音程、音の強さ)、音符の削除、音色の変更、音色別の音量変更、テンポの変更である。これら楽譜データを SkypeAPI による P2P 通信で送受信する。通信方法を P2P 通信にした理由は、P2P 通信はユーザが

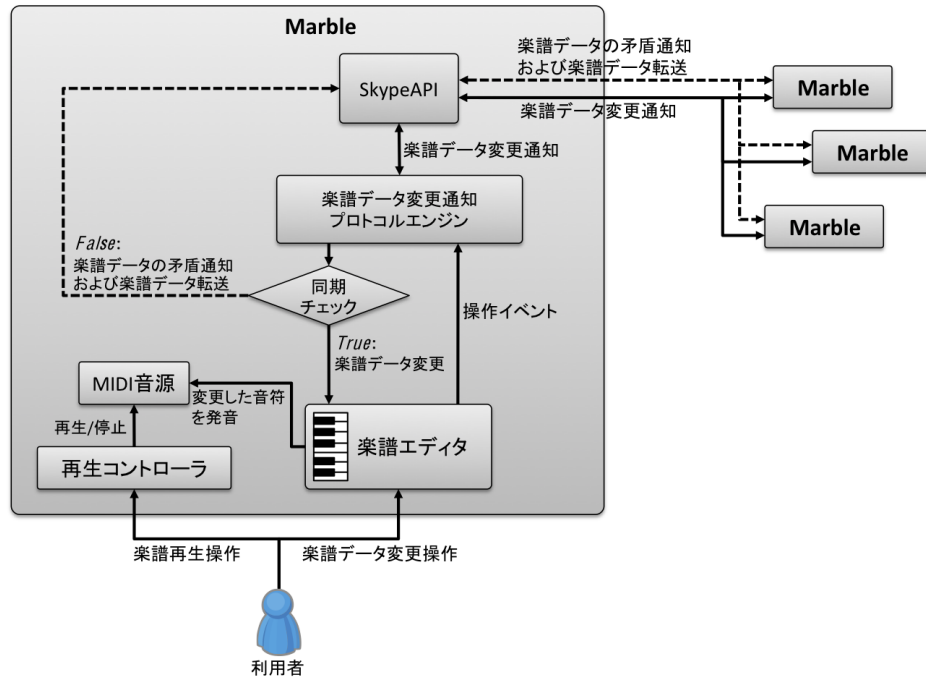


図 3 楽譜データの同期を実現するためのシステムアーキテクチャ

Fig. 3 A System Architecture for Synchronizing Score Data between Marble Clients

別途サーバーを用意する必要が無いという利点があるためである。

楽譜データの同期を実現するシステムアーキテクチャを図 3 に示す。図 3 では、楽譜データを共有する各クライアントにおいて、ユーザが楽譜データに変更を加えた際に、その変更が他のユーザの楽譜エディタに反映されるまでの流れを表している。ユーザが楽譜データに変更操作を行うと、操作された対象の属性（例えば音符なら音の長さなど）を楽譜データ変更通知プロトコルエンジンによってメッセージに変換する。このメッセージを SkypeAPI を用いて、楽譜データを共有する他の各クライアントに通知する。メッセージを受けとった各クライアントは、楽譜データ変更通知プロトコルエンジンによってメッセージの内容を解釈し、楽譜データに変更を加える。

また Marble は、前述のように P2P 通信で楽譜データの送受信を行っており、各クライ

アントがそれぞれ独立した楽譜データを保持している。そのため通信障害が発生した際に楽譜データに矛盾が生じる可能性がある。これに備えて受信したメッセージと楽譜データの音符情報を照合し、矛盾が検知された際は矛盾発生時の通知と楽譜データの同期を行う（図 3 中破線矢印）。

5. 比較実験

5.1 実験概要

実験は、2 名 1 組の被験者に Marble の楽譜エディタをリアルタイムに同期させ共有する場合（提案システム条件）と共有しない場合（従来システム条件）を比較するものである。本実験の目的は、以下の 2 つの仮説を検証し、Marble がオンライン協調作曲におけるコミュニケーションを改善できるかどうかを確かめることである。

仮説 1. 作曲に要する時間は従来システム条件と比較して短縮される。

仮説 2. 楽譜エディタ操作回数は従来システム条件と比較して増加する。

仮説 1 は、楽譜エディタをリアルタイムに作曲者間で共有し作曲過程を相互閲覧することで、作曲者間のコミュニケーション（イメージの擦り合わせ）が容易になるため、結果として楽曲ができて上がるまでに要する時間が楽譜エディタを共有しない場合と比較して短縮されるという考えに基づいたものである。また、仮説 2 は、楽譜エディタを作曲者が相互に操作しながらイメージの擦り合わせが可能になるため、楽譜エディタを共有しない場合と比較して操作回数が増えるという考えに基づいたものである。

5.2 タスクと状況設定

仮説を検証するために、Marble を同期して用いた場合と用いなかった場合のそれぞれの環境で 2 曲づつ計 4 曲を、2 名 1 組の被験者で納得のいくまで作曲してもらうというタスクを与えた。ただし、被験者同士で自由に作曲を行わせた場合、楽曲の仕上がりに納得するかどうかは個人の音楽嗜好や性格などに大きく左右されるなど、属人性の影響が大きくなることが予想される。そのため、実験では被験者に対して次のような状況設定を与えた。

「ペアとなる被験者 2 名は DTM を用いて遠隔地間で作曲活動を行っている。2 名のうち一方は主旋律を作成する主旋律担当者、他方はギター伴奏を作成する伴奏担当者である。主旋律担当者はこのほど新しい主旋律を作曲したため、伴奏担当者に伴奏の作曲を依頼することにした。主旋律担当者は作曲した主旋律に対して理想的なギター伴奏のイメージを持っている。主旋律担当者と伴奏担当者は、主旋律担当者の描く理想的なギター伴奏のイメージに近

づくまで意見を交わしながらギター伴奏の作成および修正を行う。」

これはあくまで実験のための状況設定であり、実際には主旋律担当者が主旋律を作曲したり理想的なギター伴奏のイメージを抱いている訳ではない。実験者が予め用意した課題曲を主旋律担当者となる被験者にのみ聴いてもらい、課題曲で用いられていたギター伴奏に近づくように主旋律担当者が伴奏担当者にギター伴奏の作成および修正を依頼するという方法をとった。また、主旋律担当者にギター演奏および作曲経験がある場合、主旋律担当者自身で課題曲に限りなく近いギター伴奏が作曲可能となってしまうため、主旋律担当者はギター演奏および作曲未経験者から選んだ。

5.3 実験条件

実験条件は、Marbleの楽譜エディタを同期させ共有し作曲を行う場合と共有せずに作曲を行う場合である。被験者ペアは前者と後者でそれぞれ2曲、計4曲の協調作曲を行った。ただし、インタフェースの違いという要因を排除するために、どちらの条件でもMarbleを利用し、従来システム条件でのみ楽譜データの同期を行わない非同期環境で利用してもらった。

被験者に与えた課題曲は、主旋律と伴奏の2つの音色で構成された4～5小節の小曲である（ただし、伴奏担当者は伴奏を聴くことはできない）。被験者の音楽経験がタスクに対して影響を及ぼさないようにするために、課題曲は既存の有名な楽曲に類似しないよう実験者が作成したものを使用した。

実験は、被験者2名が遠隔地に居ることを擬似的に再現するために物理的に隔離された2つの部屋で行った。各部屋にMarbleをインストールしたノートパソコン1台とタスク遂行中の発話と楽譜編集操作を記録するためのビデオカメラを設置した。

5.4 実験手順

被験者に対しそれぞれの役割とタスクを説明し、Marbleの楽譜編集操作に十分慣れるまで練習してもらった後、以下の手順で実験を行った。

- 手順1. 主旋律担当者に課題曲（楽曲全体と主旋律のみの2種類）を与え伴奏を記憶するまで聴いてもらう。
- 手順2. 主旋律担当者と伴奏担当者に主旋律のみの楽譜データを渡す。
- 手順3. 主旋律担当者は伴奏担当者にビデオチャットを通じて作曲する伴奏のイメージを伝える。
- 手順4. 伴奏担当者は主旋律担当者からの要望に基づいて伴奏を作成し主旋律担当者に伴奏を提示する。

手順5. 主旋律担当者は記憶した伴奏と提示された伴奏を比較し修正または修正案を伴奏担当者に伝える。

手順6. 手順4と手順5を繰り返す。

主旋律担当者が作成している伴奏が課題曲に近づいたと申告した時点で1つのタスクを終了した。

5.5 被験者

被験者は、奈良先端科学技術大学院大学情報科学研究科に在籍している大学院生である。主旋律担当者役を楽器演奏の未経験者、伴奏担当者役を楽器演奏の経験者とし、10組延べ20名の被験者による合計40曲の協調作曲実験を行った。

5.6 実験結果

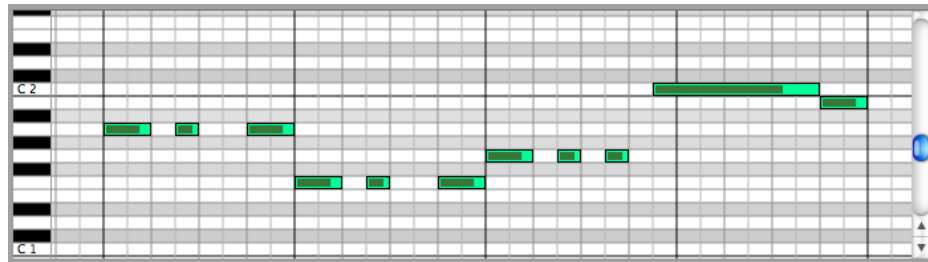
図4に被験者が作成した伴奏の例を示す。図4(a)は、実験者が主旋律担当者に試聴させた課題曲のギター伴奏の譜面の一例である。伴奏部分は主旋律担当者のみが試聴できるため、伴奏担当者は主旋律担当者とビデオチャットでコミュニケーションを行いながらギター伴奏のイメージを固めていく必要がある。図4(b)は、Marbleの楽譜エディタを同期させて楽譜を共有して主旋律担当者と伴奏担当者が作成した伴奏の一例である。

音階や音の長さが多少異なる部分もあるが課題曲の伴奏に近く完成度が高い例と言える。楽譜を共有した場合の全ての楽曲がこのような例になったわけではないが、共有しなかった場合と比較すると多くの伴奏が課題曲の伴奏に近いものとなった^{*1}。図4(c)は、楽譜エディタを同期させず従来システムを模した条件で主旋律担当者と伴奏担当者が作成した伴奏の一例である。課題曲の伴奏から大きく音階がずれていたり音の長さが大きく異なるなど、協調作曲が上手くいかなかった例である。

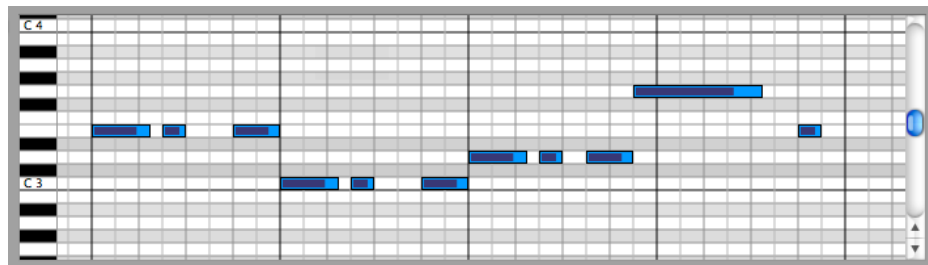
本研究における2つの仮説を検証するために計測したデータを表1に示す。仮説1および仮説2を検証するために、作曲完了までに要した時間（作曲完了時間）と被験者が楽譜エディタを操作した回数（楽譜編集回数）をそれぞれ計測した。

表1より、作曲完了時間の平均値は、Marbleの楽譜エディタを同期させた条件（提案システム条件）では16分11秒、同期させなかった条件（従来システム条件）では23分1秒である。従来システム条件の場合と比較して、提案システム条件の場合には作曲に要する時間が6分50秒短縮している。t検定の結果から、従来システム条件と提案システム条件で

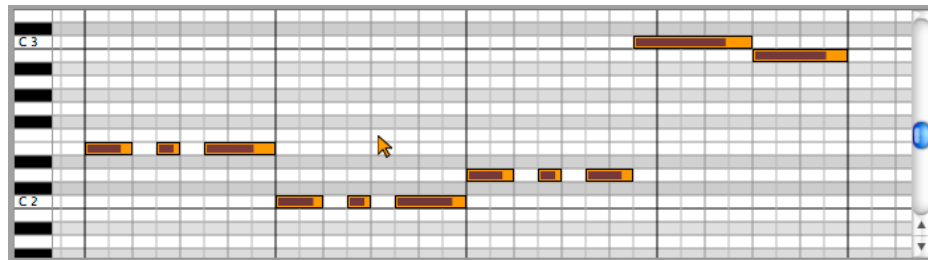
*1 実験に使用した課題曲および被験者が作曲した楽曲は以下のURLから参照できる。
http://se.naist.jp/html/HCI/online_communication/marble/exp_result.html



(a) 課題曲の伴奏（主旋律担当者が試聴した伴奏）



(b) 楽譜エディタを同期させて作曲された伴奏の例



(c) 楽譜エディタを同期せずに作曲された伴奏の例

図 4 作曲された伴奏の例

Fig. 4 Examples of Composed Scores

の作曲完了時間に有意差があることが示されており、仮説 1 は支持されると言える。

一方、楽譜編集回数の平均値は、提案システム条件では 7.93 回、従来システム条件では 6.50 回となっており、平均値で約 1.4 回程度の違いしか認められなかった。t 検定の結果が

表 1 実験結果
Table 1 Experiment Result

		1 曲あたりの作曲完了時間	1 分あたりの楽譜編集回数
従来システム	平均値	23 分 01 秒	6.50 回
	標準偏差	7 分 21 秒	2.45 回
提案システム	平均値	16 分 11 秒	7.93 回
	標準偏差	6 分 49 秒	3.19 回
t 検定の p 値		0.004*	0.121

($n = 20, p < 0.01^*$)

ら、従来システム条件と提案システム条件での楽譜編集回数に有意差はなく、本実験の条件下では仮説 2 は支持されなかった。これらの原因については次章において考察する。

6. 考 察

記録したビデオデータから抽出した被験者ペアの会話と楽譜エディタの操作データに基づいて、仮説 2「楽譜エディタ操作回数は従来システム条件と比較して増加する。」が支持されなかった原因について考察する。

楽譜エディタを共有した条件での（提案システム条件）ある被験者ペアは以下のような会話と楽譜エディタの操作を行っていた。

- (1) 主旋律担当者が伴奏担当者に「2 小節目と 3 小節目はメロディ（主旋律）に沿うように、ジャッジャーって」という要望を出す。
- (2) 伴奏担当者が楽譜エディタ上に音符を配置する。この時、主旋律には 3 個の音符が配置されていたため、伴奏担当者は「メロディに沿うように」という要望にしたがって伴奏にも 3 個の音符を配置した。
(*) 伴奏担当者は、メロディに沿う伴奏のイメージを描きながら主旋律担当者の要望「ジャッジャー」の次にくる音を補間したと考えられる。
- (3) 課題曲の伴奏試聴経験から、主旋律担当者は 2 小節目に 2 個の音符が並ぶことを想定していたため、伴奏担当者が 2 小節目に 3 個の音符を配置した後、主旋律担当者は即座に 3 個目の音を削除した。
- (4) 伴奏担当者は、主旋律担当者が 3 個目の音を削除している間に 3 小節目にも 3 個の音符を追加しようとしていたが、音符が削除されたのを見て音符追加作業を中断し「なるほどね」とつぶやいた。
(*) ここで伴奏担当者は主旋律担当者の要望や伴奏のイメージを正しく理解したも

のと思われる。

このように、伴奏担当者は3小節目の伴奏作成の指針を事前に理解することができたため余分な編集作業が不要になった、すなわち、少ない音符編集回数での作曲完了が可能になったと考えられる。全ての被験者ペアにおいて同様の事象が観察されたわけではないが、いくつかのケースで同様のやり取りが観察できた。楽譜エディタの共有により作曲イメージの擦り合わせが容易になるためインタラクションが増加するものと考えていたが、作曲イメージが従来システム条件よりも容易に共有することが可能になった結果、余分なインタラクションを抑制するという効果が現れることが分かった。

7. まとめと今後の課題

本研究では、リアルタイム協調作曲のためのコミュニケーション支援システム Marble を提案した。Marble の楽譜エディタの有用性を検証するために行った比較実験の結果、協調作曲に要する時間は Marble 利用時の方が従来システム利用時に比べて平均 6 分 50 秒程度短縮できることを確認した。また、1 分あたりの楽譜編集回数は有意な差は見られなかったものの、Marble を利用した協調作曲では、従来システム条件よりも作曲イメージをユーザ間で容易に共有することが可能になるため、余分なインタラクションを抑制するという効果があることが分かった。

本研究の今後の課題としては、システムの長期利用観察を通じて、創作される楽曲の質やでき上がった楽曲に対するユーザの満足度を評価することが挙げられる。また、ユーザの幅広い作曲方法に対応するために、MIDI キーボードなどの演奏を楽譜データに記録するリアルタイム入力に対応するなど、システムの機能拡張を行う必要がある。

謝辞 実験の被験者として御協力して頂いた、奈良先端科学技術大学院大学 情報科学研究科の皆様へ感謝致します。本研究の一部は、独立行政法人情報処理推進機構の 2009 年度下期末踏 IT 人材発掘・育成事業「オンライン協調型リアルタイム共同作曲支援システムの開発」による支援を受けた。

参 考 文 献

- 1) Sloboda, J. A.: *The Musical Mind: The Cognitive Psychology of Music*, Oxford University Press, Oxford (1985).
- 2) Sloboda, J. A.: *Exploring the Musical Mind: Cognition, Emotion, Ability, Function*, Oxford University Press, Oxford (2005).
- 3) Clark, H. H.: *Using Language*, Cambridge University Press, NY (1996).

- 4) Fischer, G.: Symmetry of ignorance, social creativity, and meta-design, *Journal of Knowledge Based Systems*, Vol. 13, No. 7-8, pp.527-537 (2000).
- 5) Fischer, G. and Ostwald, J.: Knowledge communication in design communities, *Barriers and Biases in Computer-Mediated Knowledge Communication: And How They May Be Overcome*, Springer, NY, pp.213-242 (2005).
- 6) Fischer, G.: Social creativity: turning barriers into opportunities for collaborative design, *Proceedings of the 8th Conference on Participatory Design (PDC'04)*, pp. 152-161 (2004).
- 7) 網谷重紀, 堀 浩一: 作曲者のメンタルスペースの外在化による作曲支援環境の研究, *情報処理学会論文誌*, Vol. 42, No. 10, pp.2369-2378 (2001).
- 8) 中川 渉: 実演奏の表情情報を利用した作曲支援に関する研究, 修士論文, 奈良先端科学技術大学院大学情報科学研究科 (2001).
- 9) 西本一志, 間瀬健二, 中津良平: フレーズと音楽プリミティブの相互関係の可視化による旋律創作支援の試み, *情報処理学会論文誌*, Vol. 40, No. 2, pp.687-697 (1999).
- 10) Tsandilas, T., Letondal, C. and Mackay, W. E.: Musink: composing music through augmented drawing, *Proceedings of the 27th International Conference on Human Factors in Computing Systems (CHI'09)*, NY, pp.819-828 (2009).
- 11) Hirata, K., Matsuda, S. and Kaji, K.: Annotated music for retrieval, reproduction, and sharing, *Proceedings of the 2004 International Computer Music Conference*, pp. 584-587 (2004).
- 12) 味方秀嘉, 魚井宏高: 二次元チャットシステムを用いた作曲インタフェース, 第 13 回インタラクティブシステムとソフトウェアに関するワークショップ (WISS'05) 予稿集, CD-ROM (2005).
- 13) 音楽共同編集コミュニティサイト Yourself Music, <http://yourselfmusic.jp/>.
- 14) Noteflight - Online Music Notation, <http://www.noteflight.com/>.
- 15) 音楽コミュニティサービス 音造, <http://casual.mgame.jp/onzo/>.
- 16) Greenbaum, J. and Kyng, M.: *Design at Work: Cooperative Design of Computer Systems*, Lawrence Erlbaum Associates, NJ (1991).
- 17) Rogers, E. M.: *Communication Technology*, Free Press, NY (1986).
- 18) Fischer, G., Nakakoji, K. and Ostwald, J.: Supporting the evolution of design artifacts with representations of context and intent, *Proceedings of the 1st Conference on Designing Interactive Systems (DIS'95)*, pp.7-15 (1995).
- 19) Arias, E., Eden, H., Fischer, G., Gorman, A. and Scharff, E.: Transcending the individual human mind - creating shared understanding through collaborative design, *ACM Transaction on Computer-Human Interaction*, Vol. 7, No. 1, pp.84-113 (2000).