

ライトユーザを対象としたオンライン協調作曲支援システム

大平 雅雄*¹ 木村 昌樹*¹ 松本 健一*¹

Marble: A System for Supporting Online Collaborative Music Creation among Casual Users

Masaki Kimura*¹, Masao Ohira*¹ and Ken-ichi Mastumoto*¹

Abstract – In recent years, computer music software has been widely used from novice users to professional musicians. It provides users with the ability to compose, perform and publish digital music. Most of current computer music software mainly focus on supporting a music creation process of an individual user. In contrast to digital music creation of an user, online collaborative music creation among multiple users is very difficult, because users have no means to communicate and negotiate to share an ambiguous musical idea among the users, which is inevitable in collaborative music composition in nature. In this paper we propose a support system for online collaborative music creation among casual users. The proposed system called Marble has a piano roll interface which allows a group of casual users to collaboratively edit music data and to synchronize music data among the users. We have conducted an experiment to observe how Marble could improve a collaborative music composition process. As the result of the experiment, we have found that Marble helped users collaboratively create better music with a smaller number of operations, than that of an existing system.

Keywords : collaborative music creation, desktop music (DTM), computer music, online communication, casual users

1. はじめに

近年, DTM (Desktop Music) ソフトウェアを用いた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 と呼ぶ) とは, ユーザが計算機上の楽譜に音符を配置することで, 曲を作曲したり自動演奏するためのソフトウェアである. 作曲の効率化や不足楽器の補完などを目的として, 作曲初学者からプロミュージシャンまで幅広いユーザが DTM を利用している. 特に我が国においては, VOCALOID2¹ を用いて作曲された楽曲がニコニコ動画² において発表され, 多くのユーザの共感を呼び大ヒットした. 現在, DTM 市場および音楽創造活動には新たな潮流が生まれている.

DTM を用いた作曲による利点の 1 つは, 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的制約を解消することができ, 複数人のユーザ同士での協調作曲が容易になることである. 特に, 特定の楽器パートの作曲知識は有するものの, 他の楽器パートについてはほとんど知識がないような DTM 初中級ユー

ザ (本研究におけるライトユーザ) にとっては, 不足する作曲知識をユーザ同士で補い合いながら個人ユーザのみでは困難な高度な楽曲の製作を可能にするため DTM によるオンライン協調作曲のメリットが大きい.

ただし, DTM の使用・不使用に関わらず, オンラインでの協調作曲では楽曲イメージを作曲者間で正確に共有することは通常難しい. 楽曲イメージには元来曖昧さが含まれる^{[1],[2]} ことに加え, 楽曲イメージを他のメンバーへ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. DTM を用いた現状のオンライン協調作曲では, 作曲者らはメールやチャット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し行う必要が生じ, 作曲者間で納得のいく楽譜データが出来上がるまでには多くの時間と労力を必要とする.

そこで本研究では, ライトユーザ同士によるオンライン協調作曲における作曲効率改善のための支援システムを構築することを目的とする.

続く 2 章ではまず, オンラインでの協調作曲の形態を整理し, 本研究の支援対象とその課題を明確にする. 次に 3 章では, オンライン協調作曲支援のための要件をまとめる. 4 章では, 支援システム Marble を提案し, 5 章において Marble の有用性を確認するための比較実験について述べる. 6 章で実験結果を考察し, 7

*1: 奈良先端科学技術大学院大学 情報科学研究科

*1: Department of Information Science, Nara Institute of Science and Technology

1: VOCALOID2: バーチャル・ボーカリスト「初音ミク」をモチーフとした DTM ソフトウェア.

<http://www.crypton.co.jp/mp/pages/prod/vocaloid/>

2: ニコニコ動画: 動画投稿・共有サイト.

<http://www.nicovideo.jp/>

表1 オンライン協調作曲の分類
Table 1 Category of Online Collaborative Music Creation

メンバー構成	DTM 作曲スキル	協調作曲の方法と作曲される曲の特徴・代表例
知人・友人	初中級	主旋律担当者が主体となって作曲した主旋律をベースに、各楽器パート担当者が伴奏を付加しながら曲を完成させる。メールやチャットを用いて楽譜データの交換や楽曲についての相談をおこなう。メンバーの趣味趣向に合わせて幅広いジャンルの曲が作曲されるが、曲の完成度は必ずしも高くはない。
	上級	基本的に個人のユーザが DTM によりすべての楽器パートの作曲を手がける。友人・知人にアドバイスを求め楽曲を修正したり、楽曲をオンライン配信 (mf247 ³ での無料配信など) してリスナーからのフィードバックを取り入れる。オーケストラなど高度な音楽知識を要するジャンルも含めて完成度の高い曲が作曲される。
不特定	初中級	大まかな役割分担 (作曲担当や歌詞担当など) と作曲テーマを決めて作曲したり (ピアプロ ⁴ でのコラボ作品など)、個人で作曲した曲に対してよりスキルの高いユーザにアレンジを加えてもらう (2ちゃんねるでの「MIDI データをう p して誰かにアレンジしてもらおうスレ」など) などして作曲するなど、多種多様な形態が存在する。
	上級	直接的な協調作曲というよりも N 次創作 ^[4] と呼ばれる相互引用を通じて、オリジナルまたはアレンジを加えた楽曲を含むマルチメディア作品が創作スキルの高いユーザにより派生的に創作される。ニコニコ動画における初音ミク関連作品など、曲だけではなく CG などと融合させた完成度の高い作品が多い。

章では作曲支援に関する先行研究を紹介し本研究の優位性を明確にする。最後に 8 章において本論文のまとめと今後の展望について述べる。

2. オンライン協調作曲

DTM の普及によるユーザ層の拡大により、オンラインでの協調作曲は現在、様々な形態が存在している。本章ではまず、現状のオンライン協調作曲の形態を俯瞰し本研究の支援対象を明確にする。また、本研究が支援対象としているオンライン協調作曲の作曲過程とその課題について述べる。

2.1 オンライン協調作曲の形態

表 1 は、オンライン協調作曲の形態をメンバー構成 (顔見知りの知人・友人 or 不特定多数のオンラインユーザ) と作曲スキル (初中級者の集まり or 上級者の集まり) で大まかに分類し、それぞれの活動と曲の特徴をまとめたものである。オンラインでの協調作曲はまず、メンバーが顔見知りの知人・友人から構成されるのか、あるいは、ニコニコ動画や mixi⁵ などのコミュニティサイトに集う不特定多数のユーザから構成されるのかで大きく二分することができる。さらに、構成メンバーの DTM 作曲スキルの高低によって協調作曲の方法と作曲される曲を特徴付けられる。

例えば、初音ミクに関連した作品を創作しているユーザグループでは、高度な DTM 作曲スキルを持ったメンバーが作詞・作曲し、その楽曲イメージに合った CG を他のメンバーが提供することで、完成度の高い作品をコミュニティサイトで広く一般に発表してい

る。一方、顔見知りの知人・友人からなる DTM 初中級のライトユーザからなるグループでは、メンバーそれぞれの作曲知識に限界があることが多く、不足する知識を補完し合いながらメンバーが満足し合える曲を目指して作曲を行う。出来上がった楽曲は必ずしも公開される訳ではない (メンバー間で共有するだけの場合も多い)。

本研究は特に、後者の顔見知りの知人・友人かつ DTM 初中級のライトユーザ同士によるオンライン協調作曲を対象とし、作曲効率改善のための支援システムを構築することを目的としている。次節では、本研究が支援対象としているオンライン協調作曲における作曲過程について説明する。

2.2 ライトユーザ同士による協調作曲の過程

一般に、DTM 初中級のライトユーザ同士によるオンライン協調作曲では、楽譜データをメールやチャット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・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。

このようなライトユーザ同士による一般的なオンライン協調作曲での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。

1. 主旋律担当者は、構想した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

3: mf247: 無料音楽配信サイト。http://www.mf247.jp/

4: ピアプロ: CGM 型コンテンツ投稿サイト。

http://piapro.jp/

5: mixi: 国内最大のソーシャルネットワークサービス。数千規模の DTM コミュニティが複数存在する。

http://mixi.jp/

んだ楽譜データを送信する。

2. 同時に主旋律担当者は、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。
 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。
 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2.に戻る。
- 2.と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2.と3.を何度も繰り返すこととなる。結果として、メンバー全員が納得のいく曲が出来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。

2.3 ライトユーザ同士による協調作曲の課題

図1は前述のオンライン協調作曲の過程を図式化したものである。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^{[1],[2]}。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出したもの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う主旋律担当者の期待した伴奏

は容易には得られない。

このように、音楽知識や経験を他者が正確に理解できるように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。結果的に、楽譜データの修正や微調整、代替案の作成を各メンバーが何度も繰り返し行う必要が生じ、メンバー全員が納得のいく曲が出来上がるまでには多くの時間と労力を必要とする。本研究では、オンライン協調作曲での作曲効率の改善を支援するために、メンバー同士がリアルタイムでお互いの作曲過程を閲覧しながら、各楽器パート担当者へ適宜指示を出したり、担当楽器パート以外の楽器パートの微調整を可能にするシステムを構築する。次章では、オンライン協調作曲での作曲効率を改善する支援システムの設計について述べる。

3. オンライン協調作曲支援システムの設計

ライトユーザ同士によるオンライン協調作曲では、楽曲イメージをできるだけ効率的に共有する必要がある。そのためには、メールなどを用いて楽譜データの交換と楽曲イメージに対する議論を非同期的に行うのではなく、リアルタイムで互いの作曲過程を共有し、適宜楽譜データを修正したり微調整できる環境が望ましい。そこで本研究では、ライトユーザ同士によるオンライン協調作曲での作曲効率改善のための支援システムの構築を目指した。以下に支援システム構築の基本となる設計方針を示す。

1. 外在化された音楽イメージが共有できること。
2. リアルタイムに作曲過程がお互いに見えること。
3. 楽譜を共同編集できること。

1.は、オンライン協調作曲を行う際に、メンバーが互いの楽曲イメージを具体的な形で共有する必要があることからまず挙げられる要件である。従来のDTMでもピアノロールインタフェースが広く採用され楽曲イメージの視覚的な把握を助けている。他にも楽譜データを可視化するインタフェースは存在するが、本研究の対象とするライトユーザの多くにとって馴染み深い（操作方法の学習が改めて必要のない）ピアノロールインタフェースを採用する。また、異なる音源を用いると楽曲イメージの共有が難しくなるため、メンバーが利用する音源は同一のものを利用するものとする。

2.は、楽曲イメージをメンバーが互いの楽曲イメージの違いの存在に出来るだけ素早く気付くために必要な要件である。従来のDTMでは出来上がった静的な楽譜データを可視化するのみであり、どのような考えに基づいて作曲を行ったのかを伺い知ることは困難であったため、疑問解消のための議論と楽譜データの修正を

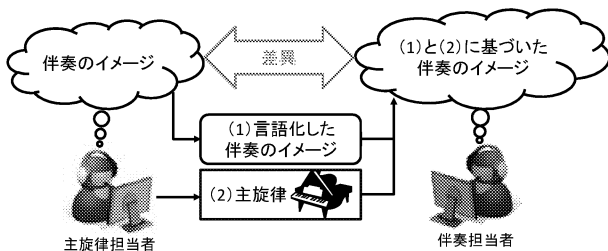


図1 DTMを用いたオンライン協調作曲の過程

Fig.1 An Online Collaborative Music Creation with DTM Software

何度も繰り返す必要性が生じた。この状況を解消するためには、お互いに作成中の楽譜データをリアルタイムに閲覧可能にすることで、疑問が生じた時点で議論が行えるようになり手戻り作業を減らすことができると考えられる。そこで、1.のインタフェース上でリアルタイムにお互いの作曲過程を閲覧できるように楽譜データの同期機能を実装する。

3.は、楽曲イメージの「擦り合わせ」を効率的に行うために必要な要件である。適宜必要に応じてお互いの楽譜データの微調整を容易にかつ繰り返し行える手段を提供することで、試行錯誤しながら具体的な形で楽曲イメージの共有を図ることが可能になる。特に本研究が対象としているライトユーザは限られた楽器パートの知識しか持たない場合が多いため、担当パート以外の楽器パートを自身の楽曲イメージに合うように大幅に変更することはできない。しかし、他メンバーが作曲した楽器パートの楽譜データをベースに微調整を加えることで、自身の楽曲イメージに近い具体的な楽譜データを提示できるようになると考えられる。そこで、1.のインタフェース上で担当以外の楽譜データが編集できるようにする。また、どのメンバーがどのパートを編集したのかが視覚的に分かるように楽譜データを色付けする。

4. Marble: オンライン協調作曲支援システム

本章では、前章で挙げた3つの要件を満たす支援システム Marble について詳述する。

4.1 システム概要

Marble は、複数ユーザ間で楽譜データをリアルタイムに同期させ相互に楽譜データを編集することができるシステムである。Skype API (Skype.framework) および Cocoa API (CoreMIDI.framework, AudioToolbox.framework, AudioUnit.framework, CoreAudio.framework) を用いて Objective-C で実装されており、Mac OS X 10.6 上で動作する。また、Mac OS X 10.6 内蔵の QuickTime 音源を用いており再生音の同一性を確保している。画面解像度:1280 × 800 ピクセル、CPU: Core 2 Duo 1.6GHz、メモリ: 2GB 程度の計算機で快適に動作することを確認している。

システムは大きく分けて、複数人のユーザがリアルタイムでオンライン協調作曲を行うためのユーザインタフェース部分と、楽譜データおよびユーザの楽譜編集操作のクライアント間同期を実現するデータ制御機能部分から構成される。以下では、Marble のインタフェースについて述べた後、システムが提供する機能の実現方法について説明する。

4.2 ユーザインタフェース

図2に Marble のインタ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フェースを踏襲した。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しているインタフェースである。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音楽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。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

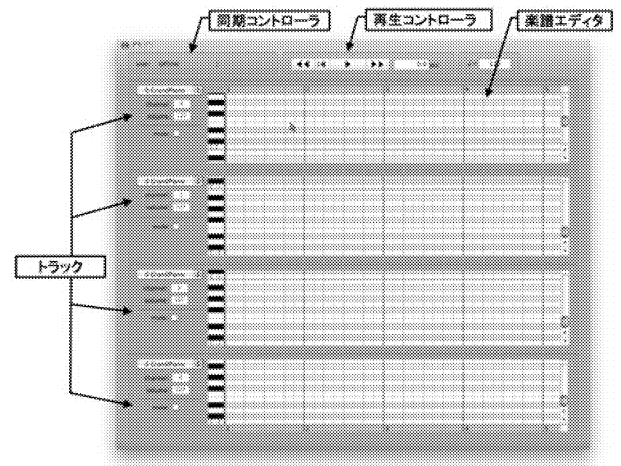


図2 Marble のインタフェース
Fig.2 Interface of Marble

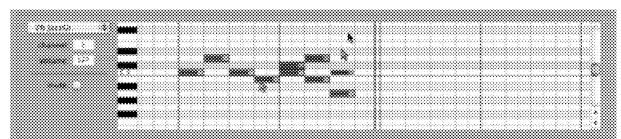


図3 楽譜エディタ上に共有された楽譜データと
テレポインタの様子
Fig.3 Score Data and Telepointers on Score
Editor

能である (要件 3)。

図 3 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 (四角の要素) 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。音符は、誰が追加した音符かを識別しやすくするために、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。テレポインタの色も音符と同様の色が割り当てられる。

4.3 データ制御機能

4.3.1 実現方法

Marble は、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およびユーザの楽譜編集操作を同期させる。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。

4.3.2 データ通信プロトコル

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 4 に示す。図 4 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 (4.3.3 節にて詳述する) 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。

プロトコルスタックはアプリケーション層にあたる Skype プロトコルのメッセージコマンドを利用している。Marble はこのメッセージコマンドに、楽曲データを通信するためのプロトコルを記述してデータの共有を実現している。また、Marble は、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のお知らせと楽譜データの同期を行う (図 4 中破線矢印)。矛盾を検知し楽譜データを同期させる際には、最新のデータを保持しているクライアントからネットワーク遅延や切断が生じたすべてのクライアントへデータを送信する。本方式により、複数のユーザが偶然同時に同じ音符に変更操作を行った場合でも、操作を最後に終了させたユーザの最新の楽譜データが各クライアントに反映される。

4.3.3 データ表現

ユーザの操作は、音符に関する操作 (例:音符の追加、編集、削除)、トラックに関する操作 (例:音色の変更、トラックの音量変更)、楽譜データ全体に関する操作 (例:テンポの変更)、マウスポインタの操作に分けられる。プロトコルのデータ表現は、この操作を識別する *Discrimination* と、操作の内容を表す *Property* をコロンでつないだものとした (式 (1))。

$$Discrimination : Property \quad (1)$$

Discrimination は、*Property* の内容を識別するために割り振られた名称が記述されている。各識別名称は表 2 の通りである。*Property* は、他のユーザの操作によって変更された変数名や値が記述されている。複数の値を CSV 形式で羅列しており、ひとつの変数は “*VariableName* = 値” の形式で構成されている。以降、各操作で付加される *Property* の内容について述べる。

4.3.3.1. 音符に関する操作の *Property*

音符情報に関する操作の *Property* は表 3 の変数で構成される。例として、あるユーザ (userID=0) が最初のトラック (trackID=0) の 2 小節目、1 拍目のド (5 オクターブ目) に 16 分音符を追加させた際に、各ク

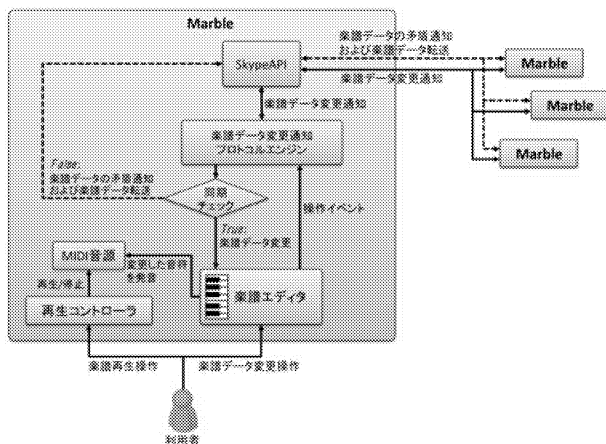


図 4 楽譜データの同期を実現するためのシステムアーキテクチャ

Fig. 4 A System Architecture for Synchronizing Score Data between Marble Clients

クライアントに送られる楽譜データ変更メッセージを以下に示す。

```
Note:trackID=0,userID=0,noteID=3,status=ADD,
time=16,note=60,duration=1,velocity=100
```

楽譜データ変更メッセージを受信したクライアントは、まず楽譜データから同じ trackID, userID, noteID を持つ音符を探索する。次に status を基に同期チェックを行う。例えば status が、追加を表す ADD であり、かつ音符が既に存在する場合、楽譜データがクライアント間で矛盾していることになる。矛盾が検知された際には、各クライアントに通知し、同時にその時点での楽譜データを転送する。同期チェックにより矛盾が検知されなければ、status 以降の Property を基に音符を生成または変更する。

4.3.3.2. その他の操作の Property

表 4, 表 5, 表 6 にそれぞれ、トラック、楽譜データ全体、マウスポインタに関する操作 Property を示す。これらは音符に関する Property と同様の処理が行われるため詳細については割愛する。

5. 比較実験

本章では、提案システム Marble の有用性を検証するために行った比較実験について述べる。

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る場合（提案システム条件）と同期させない場合（従来システム条件）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作曲効率を改善できるかどうかを確かめることである。

H1 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。

H2 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 H1 は、楽譜エディタをリアルタイムに作曲家間で共有し作曲過程を相互閲覧することで、作曲家間で楽曲イメージの擦り合わせが容易になるため、結果として曲が出来上がるまでに要する時間が楽譜エディタを同期させ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 H2 は、楽譜エディタを作曲家が相互に操作しながらイメージの擦り合わ

表 2 操作と Discrimination の対応
Table 2 Operations and Discrimination

操作	Discrimination
音符に関する操作	Note
トラックに関する操作	Track
楽譜データ全体に関する操作	Project
マウスポインタに関する操作	Mouse

表 3 音符に関する操作の Property
Table 3 Property for Score Operations

VriableName	用途
trackID	音符が属しているトラックを識別する。
userID	操作した音符をユーザ別に識別する。
noteID	操作した音符を音符番号別に識別する。
status	どのような操作をしたかを識別する。
time	音符の発音タイミングを表す。
note	音符の音階を表す。
duration	音符の長さを表す。
velocity	音符の音の強さを表す。

表 4 トラックに関する操作の Property
Table 4 Property for Track Operations

VriableName	用途
trackID	トラックを識別する。
tone	選択した音色を表す。
volume	トラックの音量を表す。

表 5 楽譜データ全体に関する操作の Property
Table 5 Property for Track Score Data

VriableName	用途
bpm	テンポを表す。

表 6 マウスポインタに関する操作の Property
Table 6 Property for Mouse Operations

VriableName	用途
trackID	トラックを識別する。
userID	ユーザを識別する。
mouseX	マウスポインタの X 座標位置を表す。
mouseY	マウスポインタの Y 座標位置を表す。
status	楽譜エディタにおいてマウスポインタの入退出を識別する。

せが可能になるため、楽譜エディタを同期させ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おうというタスクを与えた。また、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

の状況では主旋律担当者が主旋律の作曲スキルしかないといった場合が多いため、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。実験中、被験者同士で自由に作曲を行わせた場合、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等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ため、上記の設定を与えた。

実験では、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試聴させ、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・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・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・作曲未経験者から選んだ。

5.3 被験者と実験環境

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。実験では、Marbleの楽譜エディタを同期させ作曲を行う場合と、同期させずに作曲を行う場合の2通りの条件に対して、それぞれの条件で2曲ずつ計4曲の協調作曲を2名1組の被験者ペアに行ってもらった。主旋律担当者役を楽器演奏未経験者、伴奏担当者役を楽器演奏経験者とし、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。

出来る限り他の要因を排除するために、楽譜エディタを同期させない場合でも、被験者が作曲を行う際にはMarbleの楽譜エディタを非同期で利用することで従来システムを模し、被験者が使用する作曲インタフェースは同条件にした。

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視聴することはできない)。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曲に類似しないよう実験者が作成したものを使用した。

図5は、実験中の被験者の様子である。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つ部屋で実験を行った。各部屋にMarbleをインストールしたノートパソコン1台(画面解像度: 1280×800ピクセル, CPU: Core 2 Duo 1.6GHz, メモリ: 2GB, OS: Mac OSX 10.6, 音源: OSに内蔵のQuickTime音源)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。



図5 実験中の被験者の様子
Fig. 5 A Subject in the Experiment

表7 実験結果
Table 7 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
<i>t</i> 検定の <i>p</i> 値		0.004*	0.121

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

1. 主旋律担当者に課題曲(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試聴してもらう。
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。
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。
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。
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。
6. 4.と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 実験結果

図6に被験者が作成した伴奏の例を示す。図6(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6(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

共有した場合のすべての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⁶。図6(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7にまとめる。仮説H1およびH2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7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検定の結果からも従来システム条件と提案システム条件で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H1は支持されると言える。

一方、表7より、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回程の違いしか認められなかった。t検定の結果からも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H2を正しく確かめることは出来なかった。これらの原因については次章において考察する。

6. 考察

以降ではまず、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H2「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。

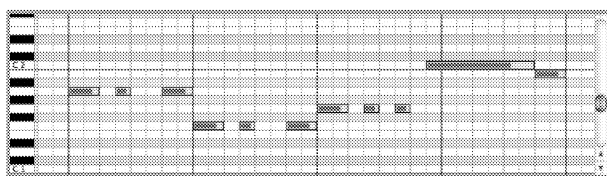
(*) 伴奏担当者は、メロディに沿う伴奏のイメージを描きながら主旋律担当者の要望「ジャッジャー」の次にくる音を補間したと考えられる。

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。

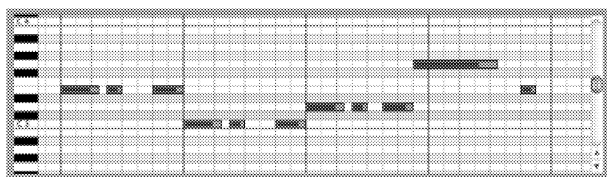
4. 伴奏担当者は、主旋律担当者が3個目の音を削除している間に3小節目にも3個の音符を追加しようとしていたが、音符が削除されたのを見て音符追加作業を中断し「なるほどね」とつぶやいた。

(*) 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。

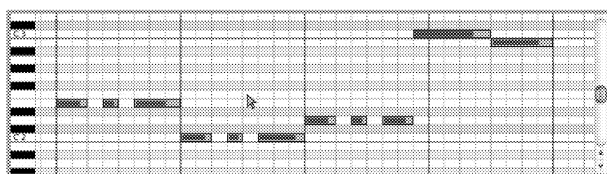
このように、伴奏担当者は3小節目の伴奏作成の指針を事前に理解することができたため余分な編集作業が不要になった、すなわち、少ない音符編集回数での作曲完了が可能になったと考えられる。すべての被験者ペアにおいて同様の事象が観察されたわけではないが、いくつかのケースで同様のやり取りが観察できた。当初我々は楽譜エディタの共有により作曲イメージの擦り合わせが容易になるためインタラクションが増加するものと考えていたが、作曲イメージが従来システム条件よりも容易に共有することが可能になった結果、余分なインタラクションを抑制するという効果が現れ



(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6 作曲された伴奏の例

Fig.6 Examples of Composed Scores

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

ることが分かった。

今回の実験では、被験者が作曲する曲は4～5小節の小曲であったことや、実際に作曲するのは伴奏のみであったことから、出来上がった曲の質や曲の完成度に対しての被験者の満足度をはじめとする官能評価は行わなかった。しかし、曲の質や満足度などの各種官能評価はもとより、DTMによる作曲初心者への教育効果など、長期に渡るシステムの利用観察を通じて明らかにすべき事柄も多く残されており、本研究の今後の課題とする。

本論文では、マウス操作で楽譜データの編集と試聴を繰り返しつつ楽曲の完成を目指す作曲方法を主な対象にMarbleを提案した。DTMによるその他の作曲方法としては、実際にMIDIキーボードなどを演奏して作曲する方法がある。また、現状ではDTMに内蔵しているデジタル楽器による作曲を対象としているが、オーディオ録音に対応することで現実世界の楽器や歌唱を交えた協調作曲が可能になると考えられる。今後はユーザの作曲方法に幅広く対応するために、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、Marbleの機能を拡張する必要がある。

7. 関連研究

計算機を用いた作曲支援には大きく2つの方向性がある。一方は、作曲作業の全てまたは一部を代行する自動作曲に関する研究である。他方は、計算機を利用することで人間が主体とする作曲活動の効率化や高度化に寄与しようとする研究である。また、後者は個人ユーザによる作曲活動の支援と複数人による作曲活動の支援に分けることができる。

7.1 自動作曲に関する研究

作曲のすべてまたは一部を計算機により自動化するアプローチは古くから存在する。計算機を用いた自動作曲は1957年にHillerとIsaacsonが発表したイリアック組曲^[5]が世界初とされる。その後、Xenakisが確率過程(stochastic process)に基づく自動作曲プログラムを用いて数多くの作品を発表するなど、計算機を用いた自動作曲に対して様々な試みがなされてきた。近年では、歌詞の韻律を用いて歌唱曲を自動作曲するシステム^[6]や曲の印象に基づいて楽曲を自動生成するシステム^[7]などが提案されている。これらの研究は、偶発性から芸術性を見いだすこと、あるいは、何らかの特徴を抽出し曲の予測を行い作曲行為の代替や補助に主眼が置かれており、本研究とは支援の目的が本質的に異なる。

7.2 個人による作曲の支援に関する研究

個人による作曲活動の支援を目的とする研究は数多く存在する。網谷らは、作曲過程における中間的産物として生成されるフレーズの集合を二次元空間上に配置し構造化する中で楽曲の構成を支援するシステムを提案している^[8]。中川は、計算機援用による個人の作曲過程のモデル化を通じて、作曲者の内省を助けるとともに他楽器の表情付けにかかる労力を軽減するための枠組みと支援システムを構築している^[9]。西本らは、即興演奏や作曲といった新たなフレーズやメロディの創作過程を対象とし、フレーズをコンピュータグラフィックスの立体物として表現し提示することによりフレーズ理解の支援を試みている^[10]。Tsandilasらは作曲過程における作曲者の紙とペンの利用に関する観察結果に基づいて紙の楽譜と計算機とのインタラクションを支援するためのシステムを提案している^[11]。これらの研究は作曲活動の効率化・高度化に寄与するという点においては本研究と方向性を一にするものであが、本研究は複数人でのオンライン協調作曲を支援するものであり支援対象が異なる。

7.3 複数による作曲の支援に関する研究

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と比較してこれまでのところまだ数は少ないが、一般クリエイターらによる音楽・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・編集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^[12]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^[13]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メンバー間で徐々に共有しながら曲を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。Marbleは、DTM初中級ユーザに馴染み深いピアノロールインタフェースを備えており、各楽器パートの楽譜データを1音符単位で共同編集できるため、既存システムよりも自由度が高くより高度な曲が作曲可能である。

一方、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 Music^[14]やNoteFlight^[15]、音造^[16]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、作曲された曲を他のユーザが編集する機能や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見ることができる。これらのサービスは、ユーザ同士のリアルタイムでの協調作曲は支えておらず、現時点ではユーザ同士の「交流」に重きが置かれている。本研究は、より高度な曲の完成を目指すライトユーザを支援するために作曲活動のリアルタイム性に重点を置いており、既存サービスとは支援の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の参考になるものである。

8. まとめと今後の課題

本論文では、ライトユーザ同士のオンライン協調作曲における作曲効率改善のための支援システム 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に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、創作される曲の質や出来上がった曲に対するユーザの満足度を評価すること、DTM による作曲効果など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システムの機能拡張を行う必要がある。

謝辞

本研究を遂行するにあたり被験者として御協力下さいまし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深く感謝します。また、独立行政法人情報処理推進機構の 2009 年度下期未踏 IT 人材発掘・育成事業プロジェクトマネージャとして本研究について助言を与えて下さいました独立行政法人産業技術総合研究所の後藤真孝氏に心より御礼申し上げます。本研究の一部は、独立行政法人情報処理推進機構の 2009 年度下期未踏 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」による支援を受けて行われた。

参考文献

[1] Sloboda, J. A.: *The Musical Mind: The Cognitive Psychology of Music*, Oxford University Press, Oxford, UK (1985).
 [2] Sloboda, J. A.: *Exploring the Musical Mind: Cognition, Emotion, Ability, Function*, Oxford University Press, Oxford, UK (2005).

[3] Clark, H. H.: *Using Language*, Cambridge University Press, NY (1996).
 [4] 濱野智紀：ニコニコ動画の生成力（ジェネレイティブ）-メタデータが可能にする新たな創造性-, 東浩紀, 北田暁大 (編), 思想地図, 第 2 巻, pp. 313-354, NHK 出版, 東京 (2008).
 [5] Hiller, L. and Isaacson, L.: *Experimental Music: Composition with an Electronic Computer*, McGraw-Hill, NY (1959).
 [6] 深山覚, 中妻啓, 米林裕一郎, 酒向慎司, 西本卓也, 小野順貴, 嵯峨山茂樹: Orpheus: 歌詞の韻律に基づいた自動作曲システム, 情報処理学会研究報告 (音楽情報科学), 第 2008-MUS-076 巻, pp. 179-184 (2008).
 [7] 秋口俊輔: ソフトコンピューティング手法を用いた曲印象からの楽曲自動生成システムの構築, 知能と情報, Vol. 21, No. 5, pp. 782-791 (2009).
 [8] 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).
 [9] 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, Master's thesis, 奈良先端科学技術大学院大学情報科学研究科 (2001).
 [10] 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).
 [11] Tsandilas, T., Letondal, C. and Mackay, W. E.: Musink: composing music through augmented drawing, in *Proceedings of the 27th international conference on Human factors in computing systems (CHI'09)*, pp. 819-828 (2009).
 [12] Hirata, K., Matsuda, S. and Kaji, K.: Annotated Music for Retrieval, Reproduction, and Sharing, in *Proceedings of the International Computer Music Conference*, pp. 584-587 (2004).
 [13] 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, 日本ソフトウェア科学会インタラクティブシステムとソフトウェア研究会, 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 (WISS2005) 予稿集, pp. CD-ROM (2005).
 [14] Yourself Music, : 音楽共同編集コミュニティサイト, <http://yourselfmusic.jp/>.
 [15] Noteflight, : Online Music Notation, <http://www.noteflight.com/>.
 [16] 音造: 音楽コミュニティサービス, <http://casual.mgame.jp/onzo/>.

(2010 年 2 月 1 日受付, 6 月 8 日再受付)

著者紹介

大平 雅雄 (正会員)



平成 10 年京都工芸繊維大学工芸学部電子情報工学科卒業。平成 15 年奈良先端科学技術大学院大学情報科学研究科博士課程修了。同年同大学産学官連携研究員。平成 16 年同大学情報科学研究科助手 (平成 19 年より助教)。博士 (工学)。HCI/CSCW, 特にオープンコラボレーションを支援する計算機環境の研究に従事。電子情報通信学会, 情報処理学会, ACM 各会員。

木村 昌樹 (学生会員)



平成 20 年宇部工業高等専門学校専攻科生産システム工学専攻修了。平成 22 年奈良先端科学技術大学院大学博士前期課程修了。同年セイコーエプソン株式会社入社、IJ 要素開発部勤務。修士(工学)。グループウェア、創造性支援に興味を持つ。

松本 健一



昭和 60 年大阪大学基礎工学部情報工学科卒業。平成元年同大学大学院博士課程中退。同年同大学基礎工学部情報工学科助手。平成 5 年奈良先端科学技術大学院大学助教授。平成 13 年同大学教授。工学博士。エンピリカルソフトウェア工学、特に、プロジェクトデータ収集/利用支援の研究に従事。電子情報通信学会、情報処理学会、日本ソフトウェア科学会、ACM 各会員、IEEE Senior Member。