

音楽アンサンブルにおけるタイムラグの影響†

小林 洋平*・永田 洋一*・三宅 美博*

An Effect of Time Lag on Music Ensemble†

Yohei KOBAYASHI* Yoichi NAGATA* and Yoshihiro MIYAKE*

The problem of time lag is critical in music ensemble. Several researches are reported to support ensemble under time lag by use special protocol or special music score. However these methods are not able to extend to more general ensemble. So in this research, we analyzed the affection of time lag on music ensemble. Under the condition of smaller time lag (less than 50ms), the ensemble was similar to the condition of no time lag. However, while time lag increased, one side of performer precedes the other side of performer, and finally the ensemble fails in the larger time lag (greater than 80ms). Therefore, the prediction of performance is necessary to perform the ensemble, and analysis of these mechanisms would be effective to construct the ensemble support system.

Key Words : time lag, music ensemble, ensemble support system

1. はじめに

遠隔地コミュニケーションにおいてデータの欠落と遅延への対策は重要な課題である。特に、アンサンブルのようなリアルタイムのパフォーマンスを要求される状況では、転送データの遅延、一般的にタイムラグと呼ばれる問題は致命的である。この問題を解決する第一の方法として、ラグそのものを減少させるというデータ転送技術の向上が考えられるが、物理的な伝送距離による遅延を超えることはできない。よって、アプリケーションレベルでこの問題を解決または支援する必要が生じてくる¹⁾。コミュニケーションの形態が一方向的な場合では、タイムスタンプなどの情報を付与する方法が有効であることが知られている²⁾。しかしこのような方法では、アンサンブルのような双方向的なコミュニケーションの場合での支援は困難である。

ラグのある状況下でアンサンブルの方法として、同じフレーズを繰り返す方法や、ジャムセッションによる対話形式などの特殊な方法が提案されている^{3,4)}。しかし、これらの限定された方法を越え、より一般的なアンサンブルを実現するためには、アンサンブルに対するラグの影響をより詳細に調べる必要がある。そこで本研究ではアンサンブルにおけるラグの問題を解決するための第一歩として、ラグがどのようにアンサンブルに影響するかを定量的に解析し、解決方法を提案していくものである。

2. 実験方法

アンサンブルにおけるラグの影響を調べるために、われわれはアンサンブルを行なっているネットワーク上に仮定のラグを挿入し、どのようにアンサンブルが変化するかを観察する。つまり、Fig.1のように、自分の演奏はラグなしに自分に伝送されるものの、相手へは仮想的なラグをとまって伝送されるようなネットワークを構築し、この上で演奏を行なうのである。よってこの環境では、各演奏者が全く同時に演奏を行なったとしても、演奏している本人にとっては相手の演奏が設定したラグの分だけ遅延して聞こえることになる。

実験はピアノの音楽経験が10年以上ある3人のピアノ演奏者が一対一で演奏を行なった。演奏はFig.2に示すような八分音符のみで構成された曲を用い、相手と同期して演奏するように指示した。演奏はラグの全くない試行から10msずつラグを付加していき、演奏が破綻するまで行なわれた。今回は、ラグの大きさに対する影響を調べることを目的とするため、各試行においてラグの大きさは一定とし、ラグの変動、つまりジッタは入れなかった。この時のそれぞれの演奏者の演奏の同調度を調べるために、自分の演奏と相手の演奏の時間差を音符ごとに記録した。

3. 解析方法及び結果

アンサンブルの同調度合いを比較する解析指標として、われわれはまず位相差を定義する。この位相差はFig.2に示すように、一拍を一周 360° とした楽譜の演奏位置に対応した位相を定義し、演奏者の演奏位置の差を位相差として表わす。さらに、われわれはFig.3のようにローカルな位相差とグローバ

* 東京工業大学大学院総合理工学研究科 横浜市緑区長津田町 4259

* Tokyo Institute of Technology, 4259 Nagatsuta, Midori, Yokohama
(Received January 27, 2004)

(Revised May 31, 2004)

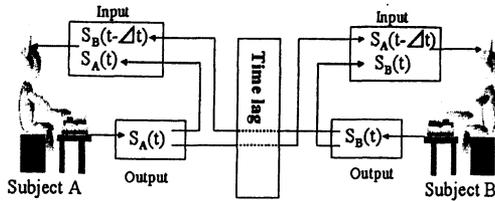


Fig.1 Conceptual figure of ensemble of time lag

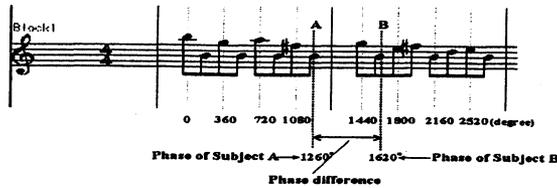


Fig.2 Used score and definition of phase

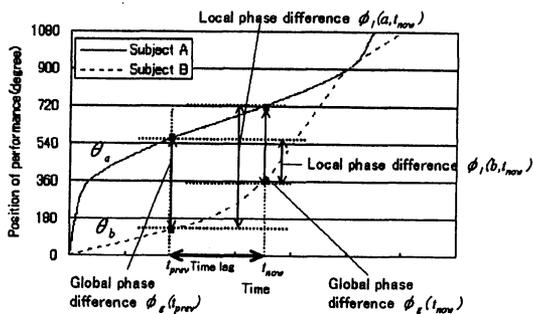


Fig.3 Relationship between time lag and phase difference

ルな位相差を定義する。グローバルな位相差とは演奏者同士の直接的な演奏のずれである。つまりFig.3において、時刻 t_{prev} と t_{now} における演奏者Aと演奏者Bのグローバルな位相差 $\phi_g(t_{prev})$ と $\phi_g(t_{now})$ は以下のような式として定義される。

$$\phi_g(t_{prev}) = \theta_a(t_{prev}) - \theta_b(t_{prev}) \quad (1)$$

$$\phi_g(t_{now}) = \theta_a(t_{now}) - \theta_b(t_{now}) \quad (2)$$

これは外部から系を観察したときに得られる指標であり、演奏者自身がこの情報を得ることはできない。これに対してローカルな位相差は各演奏者ごとに定義される演奏のずれである。つまりFig.3のように時刻 t_{now} において定義される演奏者A、演奏者Bそれぞれにとっての位相差 $\phi_l(a, t_{now})$ 、 $\phi_l(b, t_{now})$ は以下のような式で表現される。

$$\phi_l(a, t_{now}) = \theta_a(t_{now}) - \theta_b(t_{prev}) \quad (3)$$

$$\phi_l(b, t_{now}) = \theta_b(t_{now}) - \theta_a(t_{prev}) \quad (4)$$

これは演奏者A、演奏者Bが別個に観察する位相差の情報であり、それぞれの演奏者は相手の位相の情報を直接的に得ることはできない。

われわれは各指標の統計量によって演奏状態を判断する。まず、グローバルな位相差についての平均値と標準偏差をFig.4に示す。グローバルな位相差の極性については、全ラグにわたって正の平均値が多くなるように、(2)式の θ_a と θ_b に対応した演奏者を決定した。このグラフを見ると、ラグが50msあたりまでは平均値、標準偏差ともにラグがない状況とあま

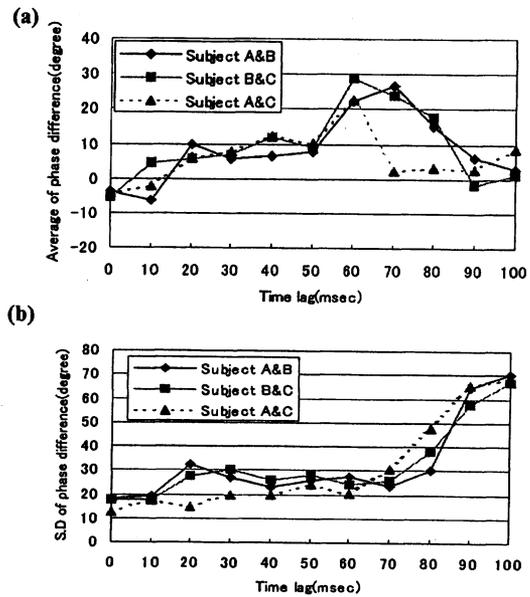


Fig.4 Global phase difference and time lag

り差がないことがわかる。50msを超えると、平均値は増大するが標準偏差は変化が少ない。これはどちらか一方の演奏が他方の演奏者に対してシフトした演奏がなされていることを示している。さらに80msを超えたあたりから平均値は再度0付近に収束していくものの、標準偏差は急激に増大し演奏が破綻していく状況が観察できる。

この状況をより詳細に調べるためにローカルな位相差の平均値をFig.5に示す。このグラフをみると、グローバルな位相差と同様に、50msを超えたあたりから位相差の値に変化が見られる。ここで注目すべき点は、それまで2人の演奏者間で対称に近かった位相差が、ラグが増えることによって非対称になるという点である。つまり、片方の位相差はラグがない状況からあまり変化がないにもかかわらず、他方の位相差が急激に増大している。これは片方の演奏者のみで演奏が同期していることを示している。

4. 考察

音楽アンサンブルにおけるラグの影響を解析したところ、ラグの大きさによって、以下のような3種類の状態に分けられることが明らかになった。

①50ms以下では、ラグがない状態に近いグローバルな位相差が観察され、ローカルな位相差からは演奏者同士の演奏が対称であることが示された。

②50-80msでは、グローバルな位相差の平均値が急激に増大し、ローカルな位相差からは演奏者間での非対称な役割分化の状態が観察された。

③80ms以上では、グローバルな位相差の標準偏差が急激に増大し、アンサンブルの破綻する状態が観察された。

まず①の状態では、グローバルな位相差、ローカルな位相差

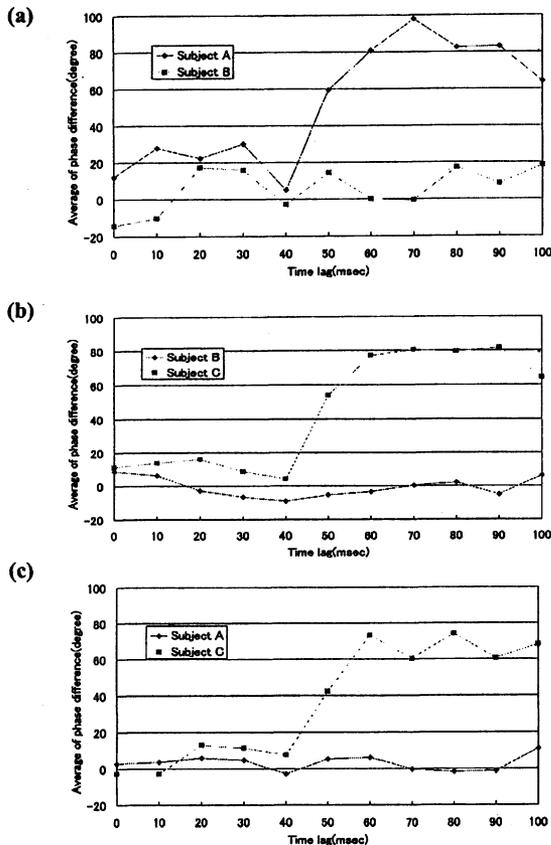


Fig.5 Local phase difference and time lag

ともに、ラグがない状態に近い状態、このような状況下では、人間はラグを補完しながらあたかもラグがないかのように演奏を行なえることを示している。つまり、この状態ではアンサンブルはラグの影響をほとんど受けていないと考えられる。また、この50ms以下という値は、先行研究における遠隔地アンサンブルが可能であるラグの限界量ともほぼ一致した値である⁹⁾。

ラグがこれよりも大きくなると、通常の演奏状態では補完しきれなくなり、②の状態となる。これは、それまで2人の演奏者間で対称であった演奏を非対称にすることによって、ラグに対応しようとしている状態である。つまり、片方の演奏者が先行して演奏を行ない、他方の演奏者がそれに追従するような形で演奏を行なっている状態である。その結果として、グローバルな位相差の平均値が増大することになる。ローカルな位相差は、追従する側(たとえばFig.5aの演奏者Bでは位相差の平均値が0の近傍にとどまりラグのない状態と差がない。しかし先行する側(たとえばFig.5aの演奏者Aでは相手の演奏と自分の演奏はずれて演奏が行なわれているため、位相差の平均値を急激に増大させる結果となる。また、各演奏者ごとの結果から、特定の演奏者が先行側や追従側になるわけではないということが示されている。たとえば、Fig.5aでは演奏者Aは先行しているのに対して、Fig.5cでは追従側になっており、相手との関係に応じて弾き方が変化していることが推測される。

さらにラグが増大すると、役割分化をもってしても演奏を

行なうことが困難となる。この③の状態では、位相差の平均値は通常の状態に戻っていくものの、位相差の標準偏差は急激に増大し、演奏が同期できていないことがわかる。もし、役割分化において先行する側は追従する側とは無関係に演奏を行ない、追従する側は単純に先行する側の演奏に一方的にあわせているのであれば、ラグの量とは無関係に演奏が成立するはずである。しかし、実際は演奏が破綻することから、対称な状態においても、また非対称な状態においても、ラグを考慮した予測的な演奏がなされていることが考えられる。

これらの結果より、まずアンサンブルを行なう上でラグが顕著に影響を及ぼすことがわかった。また、ラグに応じてアンサンブルの状態が変化することも示された。今後は、破綻にいたる以前の予測的な演奏をより詳細に解析することが必要であると考えられる。もし、この予測的な演奏が解析できれば、そのメカニズムを機械に適用してネットワークアンサンブルを支援できる可能性がある。つまり、今回のように人間同士を直結した形で演奏するのではなく、間に予測機構を組み込んだエージェントを介在させる方法である。エージェント間を繋いで予測的にラグに対応することによって、人間の演奏者は各エージェントとラグを感じることなく演奏することが可能となる。ただし、このような支援が可能になるのは、両演奏者が楽譜情報を共有している場合に限られる。そのため、楽譜情報を共有しないような即興演奏に対しては支援が困難であるため、支援方法の改善が必要となる。

5. まとめ

ラグがある状況において人間同士のアンサンブルがどのように変化するかを調べた。ラグが小さい状態では、ラグがない状態と差のない演奏が行なわれたが、ラグが大きくなると、先行側と追従側に分かれる役割分化の状態、そして演奏破綻の状態へと移行することがわかった。これを機械に適用することによってラグの問題へと対処できる可能性が示された。今回はラグが一定の環境下で演奏を行なったが、今後はジッタのようなラグの変動がある環境下においても実験を行なっていく必要があると考えられる。

参考文献

- 1) 長島, 橋本, 平賀, 平田: コンピューターと音楽の世界, 共立出版(1998)
- 2) 後藤, 橋本: MIDI制御のための分散協調システム—遠隔地間の合奏を目指して—: 情報処理学会音楽情報科学研究会研究報告, 93-MUS-4-1, 93-109, 1/8 (1993)
- 3) 後藤, 根山, 他: RMCP—Remote Media Control Protocol—時間管理機能の拡張と遅延を考慮した遠隔地間の合奏: 情報処理学会音楽情報科学研究会研究報告, 97-MUS-21-3, 97-67, 13/20 (1997)
- 4) 後藤, 根山: Open RemoteGIG遅延を考慮した不特定多数による遠隔セッションシステム: 情報処理学会論文誌, 43-2, 299/309 (2002)
- 5) 大部, 吉田, 米倉: 楽音間で同期の取れない音場における演奏者間プロトコル, 電子情報通信学会 2003年06月 MVE共催研究会, 10/13 (2003)