

平成 22 年度
プロジェクト研究報告書

クリッピング歪み軽減法の比較

1110270 畠山 貴至

指導教員 福本 昌弘

2011 年 2 月 26 日

高知工科大学 情報システム工学科

要 旨

クリッピング歪み軽減法の比較

畠山 貴至

クリッピング歪みの予防として、コンプレッサやリミッタ、自動利得制御を扱いクリップの起こらない振幅に調整する方法がある。コンプレッサとリミッタはあらかじめ、しきい値を設定することでしきい値以上の振幅が入力された場合にその振幅を圧縮する。自動利得制御は、平均出力信号レベルをフィードバックすることで利得が入力信号レベルに対して適切な範囲になるよう調整する。しかし、あらかじめ設定した値に対し予期せぬ過大な振幅の入力により、コンプレッサやリミッタ、自動利得制御を扱った場合でもクリップが起こってしまい、クリッピング歪みが発生してしまう場合がある。クリッピング歪みの発生した音声は音割れやノイズのような人間にとって不快な音声となる。一般的には、クリップの起こった音声はコンプレッサ、リミッタ、自動利得制御の調整をし直し、取り直す。しかし取り直しの利かない生録音などではクリッピング歪みの発生したままの音声となってしまう。

そこで本論文では、クリップした音声に対しクリッピング歪み軽減法として近似補間を用いてクリップ部分を修正しクリッピング歪みの軽減を行い、異なる音声でも有効に補間されるかの検証、クリッピング歪みの軽減の比較、原音との比較、演算量の比較を行った結果、近似補間によるクリッピング歪み軽減の有効性を確認した。

キーワード 近似補間, クリッピング歪み, クリップ

目次

第 1 章	序論	1
1.1	研究の目的とその背景	1
1.2	本論文の構成	2
第 2 章	クリッピング歪みによる問題点	3
2.1	はじめに	3
2.2	クリッピング歪みの起こる原因と問題点	3
2.3	既存のクリップの予防法	3
2.3.1	リミッタ	4
2.3.2	コンプレッサ	4
2.3.3	自動利得制御	5
2.3.4	まとめ	5
第 3 章	クリッピング歪みの軽減法	6
3.1	はじめに	6
3.2	近似補間	6
3.2.1	ラグランジュ補間	8
3.2.2	ニュートン補間	9
3.2.3	加重平均補間	9
3.2.4	スプライン補間	10
3.2.5	まとめ	11
第 4 章	補間法の比較	12
4.1	はじめに	12
4.2	異なる音声の補間の検証	12

目次

人の声の音声	13
楽器の音声	17
音楽の音声	20
4.2.1 異なる音声の補間の検証結果	23
4.3 クリッピング歪み軽減の比較	24
4.3.1 クリッピング歪み軽減の結果	24
4.4 原音との比較	25
4.4.1 原音との比較結果	25
4.5 演算量の比較	25
4.5.1 演算量の比較結果	26
4.5.2 まとめ	26
第 5 章 結論	28
5.1 本研究のまとめ	28
5.2 今後の課題	29
謝辞	30
参考文献	32
付録 A 近似補間	33
A.0.1 ラグランジュ補間	33
A.0.2 ニュートン補間	34
A.0.3 加重平均補間	36
A.0.4 スプライン補間	36

目次

2.1	リミッタ	4
2.2	コンプレッサ	5
3.1	近似補間	7
3.2	近似補間を用いたクリッピング歪み軽減法	8
3.3	スプライン補間	11
4.1	人の声の原音	13
4.2	人の声をクリップした音声	14
4.3	クリップした人の声をスプライン補間	14
4.4	クリップした人の声を加重平均補間	15
4.5	クリップした人の声をラグランジュ補間	15
4.6	クリップした人の声をニュートン補間	16
4.7	楽器の原音	17
4.8	楽器のクリップした音声	17
4.9	クリップした楽器の音声をスプライン補間	18
4.10	クリップした楽器の音声を加重平均補間	18
4.11	クリップした楽器の音声をラグランジュ補間	19
4.12	クリップした楽器の音声をニュートン補間	19
4.13	音楽の原音	20
4.14	クリップした音楽の音声	21
4.15	クリップした音楽をスプライン補間	21
4.16	クリップした音楽を加重平均補間	22
4.17	クリップした音楽をラグランジュ補間	22

図目次

4.18 クリップした音楽をニュートン補間	23
---------------------------------	----

表目次

4.1	人の声の音声の原音との誤差	16
4.2	楽器の音声の原音との誤差	20
4.3	音楽の音声の原音との誤差	23
4.4	クリッピング歪み軽減の比較結果	24
4.5	原音との比較結果	25
4.6	演算量の比較結果	26

第 1 章

序論

1.1 研究の目的とその背景

音声録音はマイクロホンで音声を拾い，電気信号に変換し収録し，増幅器であるマイクアンプで適切に増幅して録音機器に入力する [1]．録音機器にはあらかじめ入力範囲が決められており，電気信号が入力範囲を越える部分は記録されない．入力範囲を越えてしまった電気信号は波形の一部が切り取られしまい，クリップが起こってしまう [2]．クリップの起こった波形をそのまま再生してしまうとクリッピング歪みが発生し，音割れやノイズのような人間にとって不快な音が聴こえてしまう．クリップした波形を原音の波形に戻すことは不可能である．なぜなら，クリップが起こり切り取られた波形の形は記録されていないからである．既存のクリップの予防法として，あらかじめコンプレッサやリミッタ，自動利得制御を扱い振幅の調整を行えば防ぐことができる [3]．コンプレッサとリミッタは，あらかじめ設定した値以上の振幅が入力された場合にその値以上の振幅を圧縮することでクリップを予防する．自動利得制御は，振幅の平均出力をフィードバックすることで振幅の入力に対して適正な値に自動的に調節することでクリップを予防する [1]．しかし，コンプレッサやリミッタ，自動利得制御の調節をあらかじめ設定しても予期せぬ過大な振幅の入力により入力範囲を越えてクリップしてしまう事がある．一般的には，クリップの起こった音声はコンプレッサやリミッタ，自動利得制御を再調節し録り直す．しかし，録音の取り直しのできない場合，例えば生録音ではクリップしたままの音声となってしまう．そこで本研究ではクリップした音声に対して近似補間 [4] を用いてクリップを修正し，クリッピング歪みの軽減を行い，人間の声，音楽，楽器と異なる音声に対しても有効に補間されるかを検証し，クリッピング歪

1.2 本論文の構成

み軽減の比較，原音との比較の主観評価と，演算量の比較を行う．

1.2 本論文の構成

本論文の構成について述べる．

第2章では，クリッピング歪みの起こる原因と問題点，軽減方法を述べる．

第3章では，近似補間について説明し，次に本研究で使用したスプライン補間，ラグランジュ補間，ニュートン補間，加重平均補間について述べる．

第4章では，異なる音声でも有効に補間を行えるかの検証，クリッピング歪み軽減の比較，原音との比較，演算量の比較を第2章に述べた補間法により比較する．

第5章では，本研究の結論を述べ，今後の課題について述べる．

第 2 章

クリッピング歪みによる問題点

2.1 はじめに

クリップした音声を再生したことによって起こるクリッピング歪みの軽減法としてクリップを予防する，コンプレッサやリミッタ，自動利得制御を用いた方法がある．しかし，コンプレッサやリミッタ，自動利得制御を扱ってもクリップが起こってしまう場合がある．本章では，まずクリッピング歪みの起こる原因と問題点について説明しクリップの予防法として，コンプレッサとリミッタ，自動利得制御の説明と問題点について述べる．

2.2 クリッピング歪みの起こる原因と問題点

録音機器には予め最大入力が決められており，入力範囲を越えた電気信号は，波形の一部が切り取られ，クリップする [2]．クリップした波形は切り取られる前の波形に戻すことは不可能である．何故なら，切り取られた波形は録音機器に記録されていないため，どのような波形の形であったのかわからない為である．クリップした波形をそのまま再生してしまうとクリッピング歪みが発生し，音割れやノイズのような人間にとって不快な音が聴こえてしまう．また，電気信号の過大入力は機器の破損にもつながる [7]．

2.3 既存のクリップの予防法

先に述べたクリッピング歪みの既存の予防法にはコンプレッサ，リミッタ，自動利得制御がある．この既存の予防法の説明と問題点について述べる．

2.3 既存のクリップの予防法

2.3.1 リミッタ

リミッタは、振幅があらかじめ設定した値であるしきい値、レシオに達すると、抑え込みを開始するセンスの部分まで振幅を圧縮する処理を行うことで、クリップを予防することができる。しかし、あらかじめ設定をした値であるレシオに対して予期せぬ過大な振幅が入力された場合、振幅を圧縮しきれずに、クリップしてしまうという問題点がある。

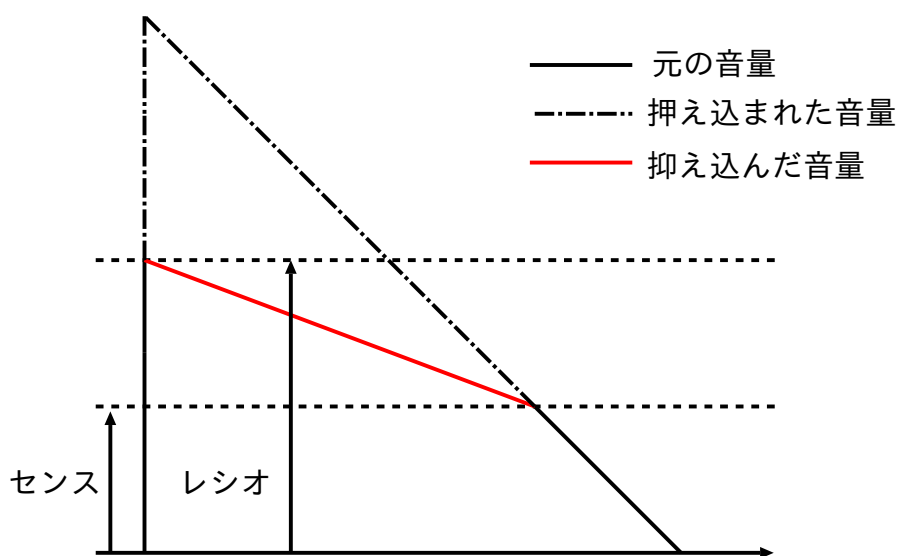


図 2.1 リミッタ

2.3.2 コンプレッサ

コンプレッサは、リミッタと同様に過大な振幅の入力信号を圧縮し、入力機器の入力範囲を越える振幅を抑制する。コンプレッサの原理としては、しきい値であるレシオ以上の大きな振幅の入力があると、抑え込みを開始するセンスの部分まで振幅を圧縮する処理を行うことで、クリップを予防することができる。リミッタとの違いとして、圧縮を行う時間を遅らせるアタックがあり、アタックによって音声の強調が可能である。しかし、リミッタ同様に、設定値に対して予期せぬ過大な入力により振幅が圧縮しきれずに、クリップしてしまうという問題点がある。

2.3 既存のクリップの予防法

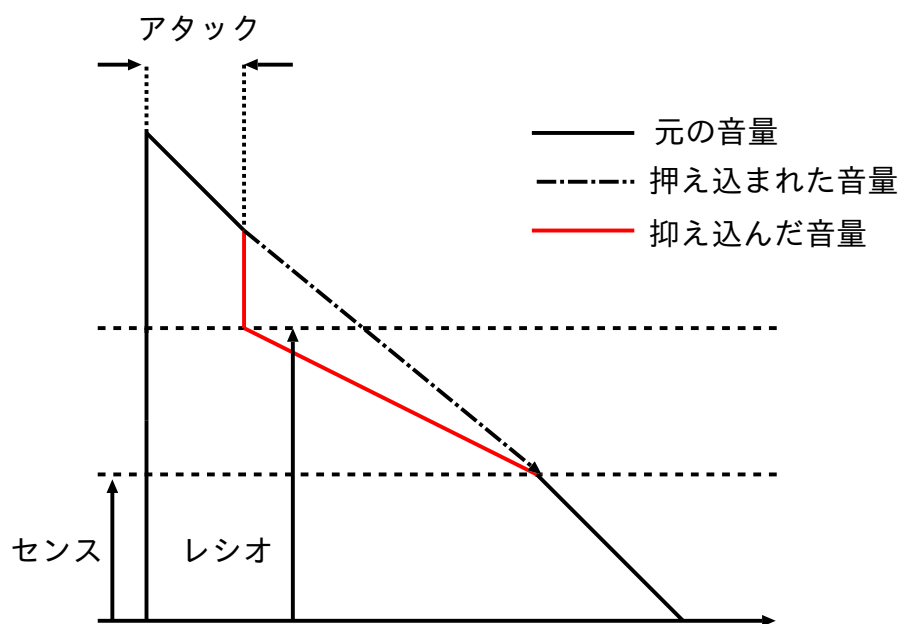


図 2.2 コンプレッサ

2.3.3 自動利得制御

自動利得制御は、振幅の平均出力をフィードバックすることで振幅の入力に対して適切な範囲に処理することで、過度な振幅の入力を防ぐという利点がある。しかし、コンプレッサ、リミッタ同様に、振幅の予期せぬ過大な入力に対しては、クリップしてしまうという問題点がある。

2.3.4 まとめ

本章では、クリッピング歪みの起こる原因と問題点、既存のクリップの予防法と問題点について述べた。コンプレッサやリミッタ、自動利得制御を扱った方法では、あらかじめ設定した予想のできる過大な振幅に対しては、振幅を抑圧できるが、予期せぬ過大な振幅に対しては振幅を抑圧しきれずにクリップしてしまう。次章では、クリップしてしまった音声に対するクリッピング歪み軽減法として近似補間について述べる。

第 3 章

クリッピング歪みの軽減法

3.1 はじめに

コンプレッサやリミッタ，自動利得制御と，既存のクリッピング歪みの予防法の問題点として，予期せぬ過大な振幅の入力により入力機器の入力範囲を越えた振幅となり，クリップが起こってしまう．クリップの起こった音声は，元の音声に戻すことは不可能であり，クリッピング歪みの発生したままの音声となる．そこで，本研究では近似補間を用いて，クリップ部分を修正し，クリッピング歪みの軽減を行う．本章では，近似補間について述べ，本研究で扱ったラグランジュ補間，ニュートン補間，加重平均補間，スプライン補間について説明し，補間法を用いたクリッピング歪みの軽減の説明を述べる．

3.2 近似補間

近似補間は，いくつかの点の値が与えられた関数値と一致するような近似関数，すなわち，

$$fa(xi) = yi \quad (i = 0, 1, 2, \dots, N) \quad (3.1)$$

を満たす関数の集合 $fa(x)$ の中から適当なアルゴリズムによって，最適近似関数 $fm(x)$ を求める方法である．この方法の特徴は近似関数 $fa(x)$ がすべてのデータ点 (xi, yi) を通る事である [4]．

近似補間の説明を図 3.1 に示す．データ点を補間点とし未知のデータに対する推定を行う．また，近似補間の特徴の補間点すべてのデータ点を通る．

3.2 近似補間

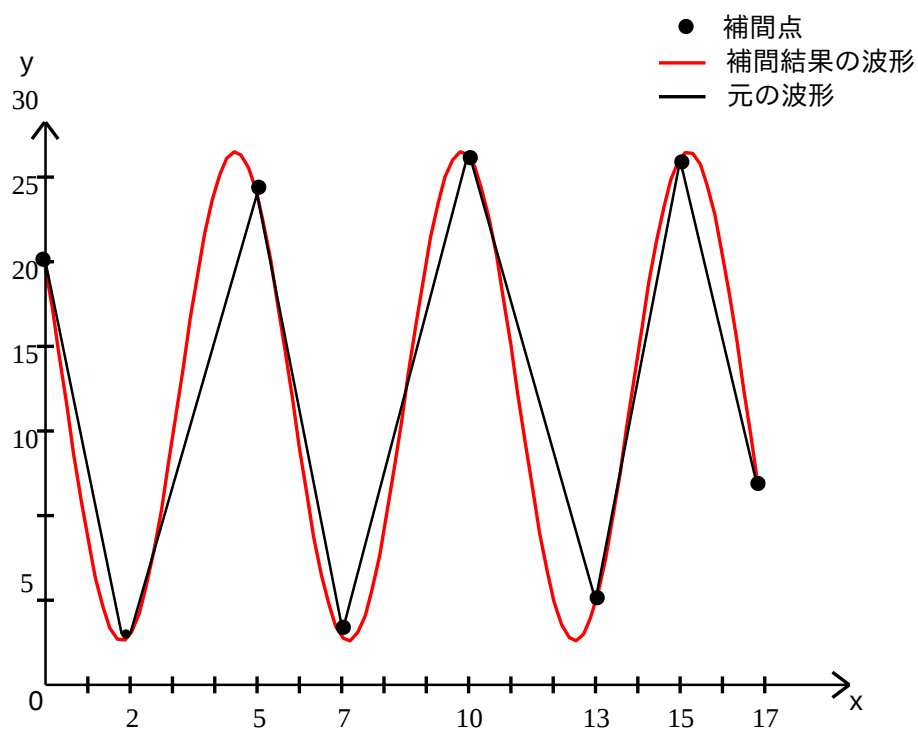


図 3.1 近似補間

本研究では、近似補間によりクリップ部分のデータの振幅を未知のデータとし、クリップ部分前後のデータから補間点を取り、適当なアルゴリズムにより、切り取られた波形を推定することでクリッピング歪みの軽減の比較を行う。近似補間を用いたクリッピング歪み軽減の方法を図 3.2 に示す。

3.2 近似補間

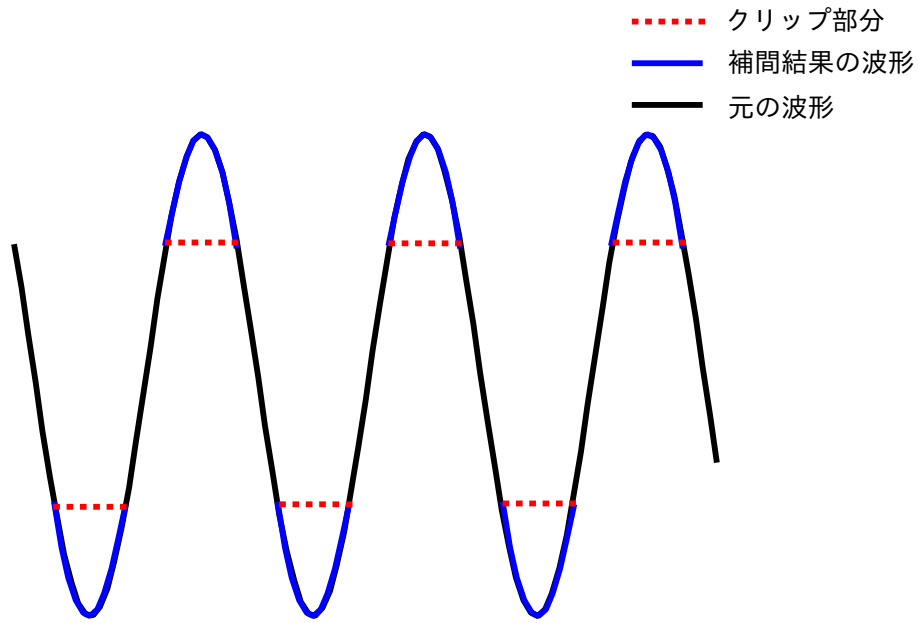


図 3.2 近似補間を用いたクリッピング歪み軽減法

3.2.1 ラグランジュ補間

ラグランジュ補間は、補間法の中でも、最もよく知られたものである [3]。この方法は、補間点が増加する度に再度計算を求める。ラグランジュ補間法に対する定義式は次のものである。いくつかの点 $x = x_i (i = 0, 1, 2, \dots, N)$ での値 $y_i = f(x_i)$ が与えられたとき、 $f(x)$ を近似する近似多項式 $f_N(x)$ とする。

$$f_N(x) = \sum_{i=0}^N \frac{p_N(x)}{p'_N(x_i)(x - x_i)} y_i \quad (3.2)$$

ここで $p'_N(x_i)$ は $p_N(x)$ の $x = x_i$ における微分係数である [4]。

近似補間の説明や、図 3.2 で示したように、本研究では、ラグランジュ補間を用いてクリップ部分のデータの振幅を未知のデータとし、クリップ部分の前後のデータから補間点を取りラグランジュ補間の公式を用いて原音の波形を推定する。ラグランジュ補間の公式では、補間点が増加する度に再度計算を求める為、演算量の観点では効率が悪い。

3.2 近似補間

3.2.2 ニュートン補間

ニュートン補間は、近似多項式 $f_N(x)$ は $p_N(x)$ の $x = x_i$ における微分係数である。そのため関数の差分商を定義する。ニュートン補間の定義式は次のものである

$$f_N(x) = \sum_{j=0}^N F[x_0, x_1, x_2, \dots, x_i] p_{i-1}(x) \quad (3.3)$$

となる [4].

本研究では、ニュートン補間もラグランジュ補間同様にクリップ部分のデータの振幅を未知のデータとし、クリップ部分の前後のデータから補間点を取り、ニュートン補間の公式を用いて原音の波形を推定する。ラグランジュ補間との違いは演算量にあり、ニュートン補間の公式は、補間点を増やしたとき、例えば $x_0, x_1, \dots, x_N$ に一点 x_{N+1} を追加しても、ニュートン補間公式は

$$f_{(N+1)}(x) = \sum_{j=0}^N F[x_0, x_1, x_2, \dots, x_i, x_{N+1}] p_N(x) \quad (3.4)$$

となるだけで、1つ項が加わるだけとなり、演算量の軽減となる [2].

3.2.3 加重平均補間

加重平均補間は、補間したい値には依存しない加重を定義して、ラグランジュ補間法の計算式を再構成する。加重平均補間の計算式は次のものである。 w_i は加重を示す [5].

$$w_0 f(x_0) + w_1 f(x_1) + \dots + w_i f(x_i) + \dots + w_n f(x_n), \quad (3.5)$$
$$w_0 + w_1 + \dots + w_n = 1$$

$$f(x_n + 1) \approx w_k f(x_{n-k}) + w_{k-1} f(x_{n-k+1}) + \dots + w_0 f(x_n) \quad (3.6)$$

3.2 近似補間

本研究では、加重平均補間も、ニュートン補間、ラグランジュ補間と同様の処理を行い、補間を行う。ニュートン補間、ラグランジュ補間との違いとして、補間したい値に依存しない加重を定義することでラグランジュ補間のように補間点の増加にともない、再計算をする必要はない。

3.2.4 スプライン補間

スプライン補間は、小さい数から大きさの順に並んだ $N + 1$ 個の補間点を $x_0, x_1, \dots, x_N$ とし、さらに x_N の右側に補助的な点 x_{N+1} をとる。これらの点における $f(x)$ の値を $f_i (i = 0, 1, 2, \dots, N)$ とする。隣合う第 i 番目の区間 $[x_{i-1}, x_i]$ で $f(x)$ を次の 3 次多項式で近似するこれが 3 次スプラインの第 i 番目の区間での関数型である。

$$P_i(x) = C_{1,i} + C_{2,i}(x - x_{i-1}) + C_{3,i}(x - x_{i-1})^2 + C_{4,i}(x - x_{i-1})^3, \\ (i = 1, 2, \dots, N) \quad (3.7)$$

補間関数 $P_i(x) (i = 1, 2, \dots, N)$ を決めるためには $4N$ 個の係数 $C_{j,i} (j = 1, 2, 3, 4, i = 1, 2, \dots, N)$ が未知数で、これが決まれば補間関数が決定される [4]。スプライン補間を図 3.3 に示す。

3.2 近似補間

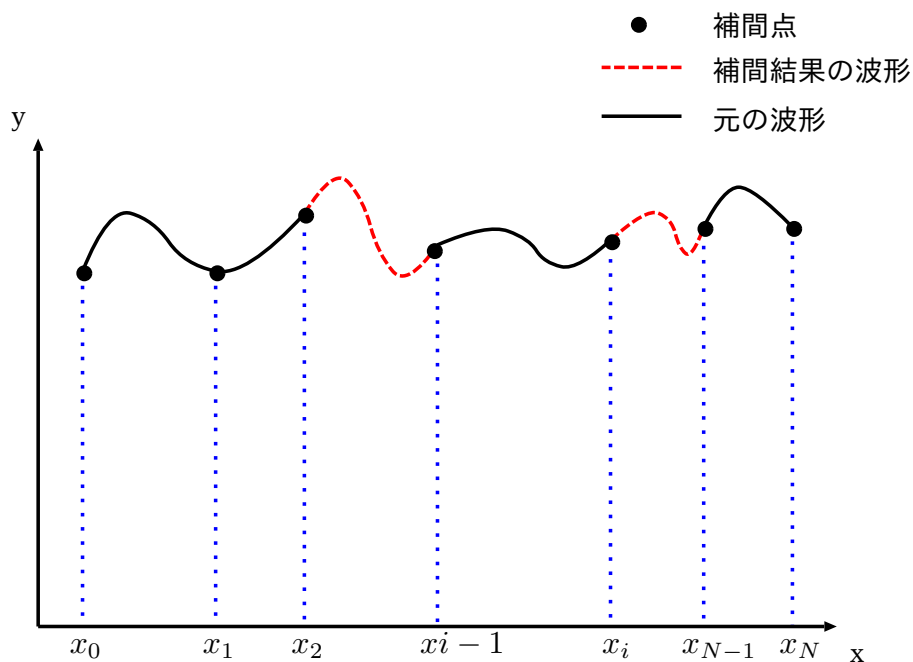


図 3.3 スプライン補間

本研究では，スプライン補間の公式を扱い，隣合う第 i 番目の区間 $[x_{i-1}, x_i]$ をクリップ部分の前後の波形とし，原音の波形を推定する．スプライン補間では，導関数を求めるため，演算量の観点では効率的ではないと考えられる．

3.2.5 まとめ

本章では，近似補間の説明と，本研究で扱った補間法の説明を述べ，クリップした音声に対するクリッピング歪み軽減法としての近似補間の方法を述べた．次章では，扱った補間法による，異なる音声でも有効に補間できるかの評価，クリッピング歪み軽減の比較，原音との比較，演算量の比較を行うことで，最も効率的，有効に補間のできる補間法を評価する．

第 4 章

補間法の比較

4.1 はじめに

本章では，クリップした音声に対してのクリッピング歪み軽減法として，スプライン補間，ラグランジュ補間，ニュートン補間，加重平均補間を比較対象の補間法とし，異なる音声でも有効に補間されるかの検証，クリッピング歪み軽減の比較，原音との比較，演算量の比較を行う．

異なる音声でも有効に補間されるかの検証では，人の声，楽器，音楽に対して補間を行い評価を取る．クリッピング歪み軽減の比較，原音の比較では，評価方法として被験者実験を行いアンケートを取る．被験者は 20 代男性，5 人を対象に評価を行った．演算量の比較では，比較対象の補間法の演算量を計測し評価を行う．

4.2 異なる音声の補間の検証

本研究では，近似補間を用いてクリップにより切り取られた部分の波形の推定を行う．そこで，異なる音声，人の声，楽器の音，音楽でも有効に補間されているかの検証を行う．

図 4.1 は人の声の音声の原音を示す．図 4.2 は原音をクリップさせた音声，スプライン補間の結果を図 4.3，加重平均補間を図 4.4，ラグランジュ補間を図 4.5，ニュートン補間を図 4.6，に示す．

図 4.7，は楽器の音声の原音を示す．図 4.8，は原音をクリップさせた音声，スプライン補間の結果を図 4.9，加重平均補間を図 4.10，ラグランジュ補間を図 4.11，ニュートン補間を図

4.2 異なる音声の補間の検証

4.12 に示す.

図 4.13, は音楽の音声の原音を示す. 図 4.14, は原音をクリップさせた音声, スプライン補間の結果を図 4.15, 加重平均補間を図 4.16, ラグランジュ補間を図 4.17, ニュートン補間を図 4.18 に示す.

また, 異なる音声の補間の検証として, 原音の波形から補間した結果の波形の誤差を計測する. 人の声の原音と補間した結果との誤差を表 4.1 に示し, 楽器の原音と補間した結果との誤差を表 4.2, 音楽の原音と補間した結果との誤差を表 4.3 に示す.

人の声の音声のデータ数は 211,033 個, その内クリップしているデータ数は 698 個であり, 楽器の音声は, データ数 222,911 個, その内クリップしているデータ数は 2741 個である. 音楽の音声は, データ数 214,245 個, その内クリップしているデータ数は 16,816 個である.

人の声の音声

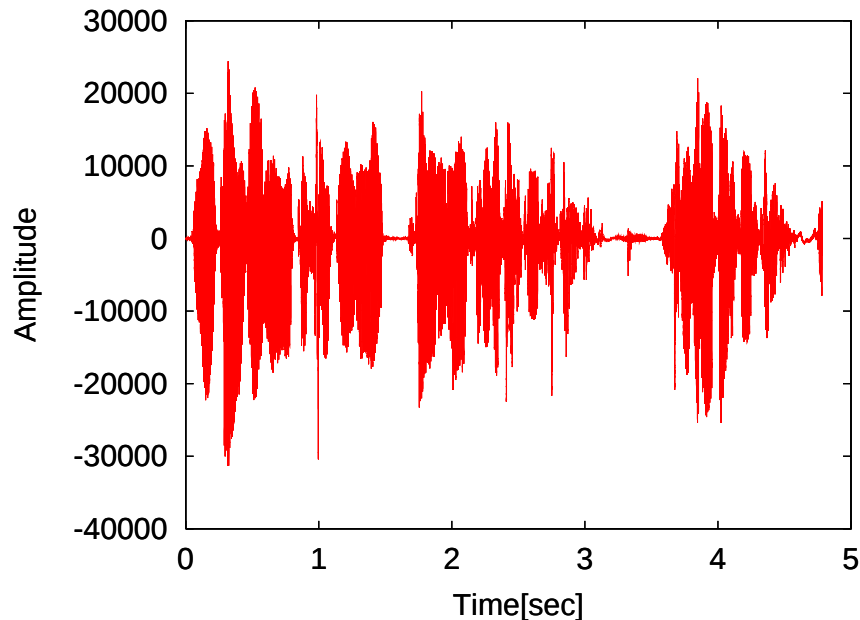


図 4.1 人の声の原音

4.2 異なる音声の補間の検証

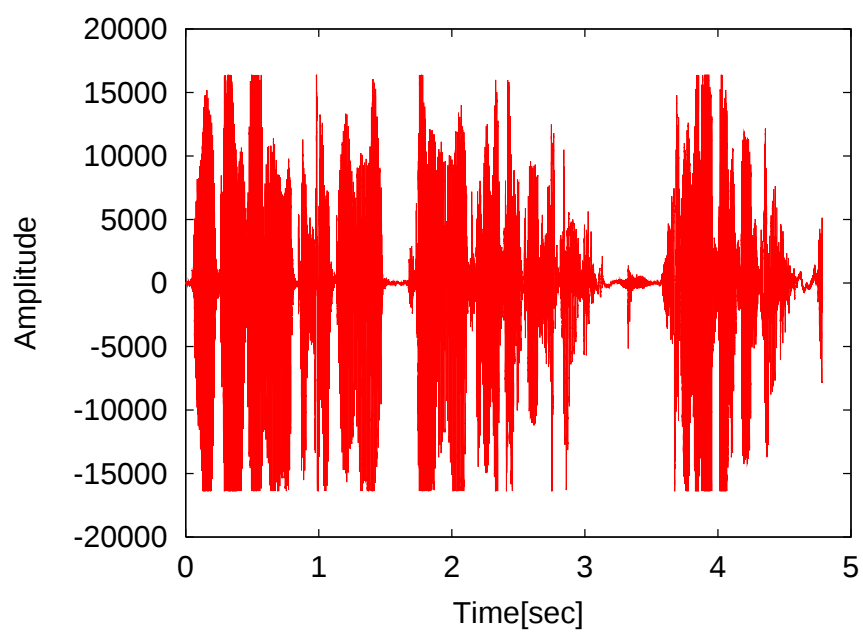


図 4.2 人の声をクリップした音声

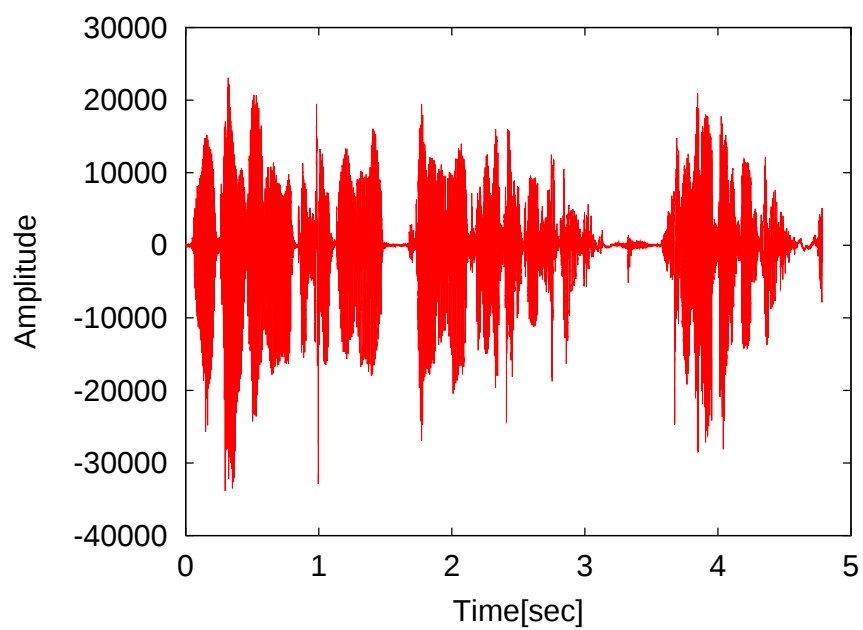


図 4.3 クリップした人の声をスプライン補間

4.2 異なる音声の補間の検証

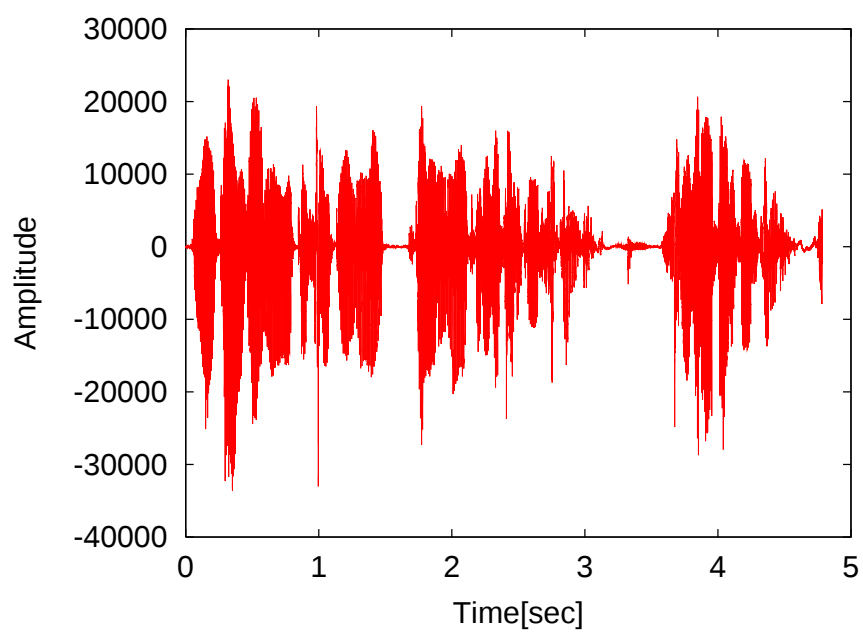


図 4.4 クリップした人の声を加重平均補間

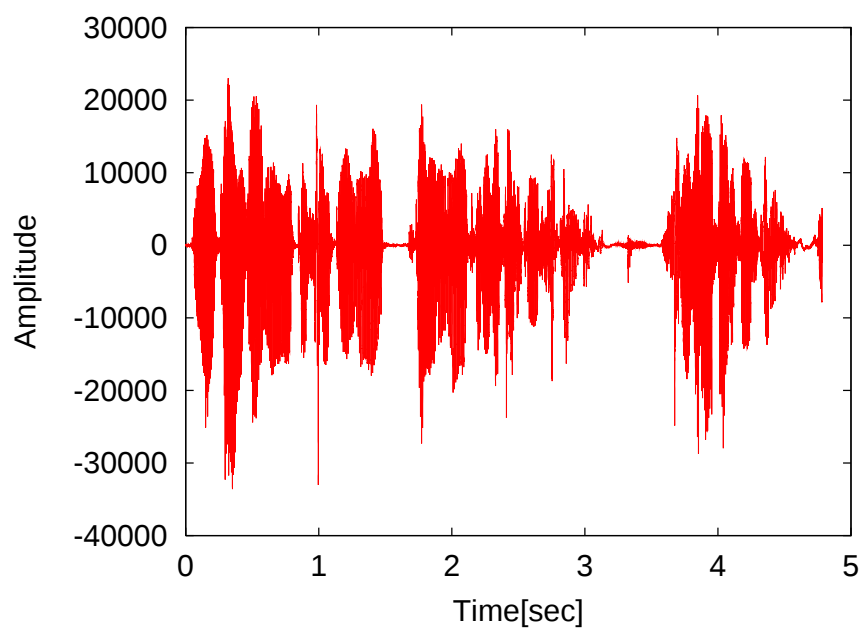


図 4.5 クリップした人の声をラグランジュ補間

4.2 異なる音声の補間の検証

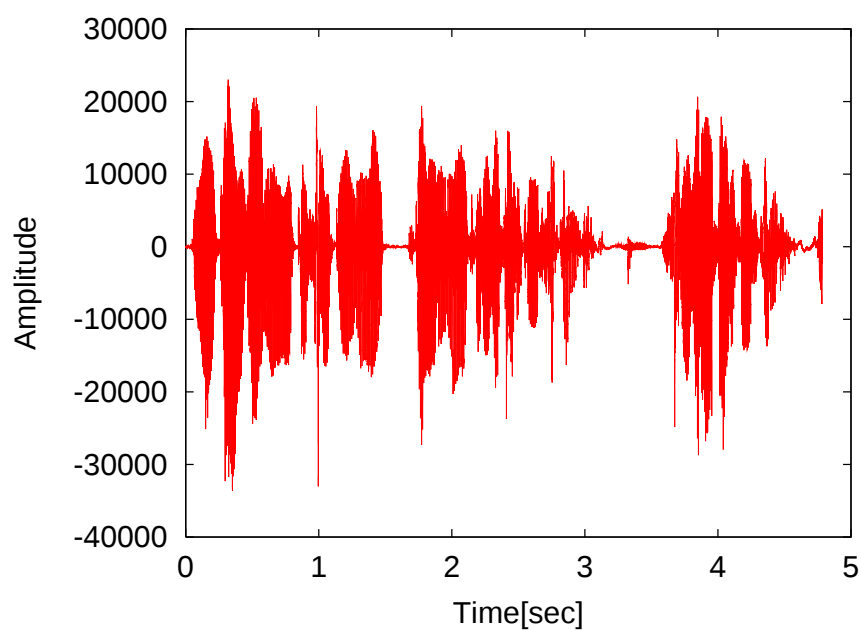


図 4.6 クリップした人の声をニュートン補間

表 4.1 人の声の音声の原音との誤差

補間名	誤差 [%]
スプライン補間	22.4
ラグランジュ補間	
ニュートン補間	18.4
加重平均補間	

この表 4.1 は、人の声の原音，図 4.1 と人の声をクリップさせた音声をスプライン補間した結果，図 4.3，加重平均補間した結果，図 4.4，ラグランジュ補間した結果，図 4.5，ニュートン補間した結果，図 4.6 を比較し，全体の波形の誤差を計測した結果である．どの補間法も原音を 18 から 22%の誤差がでるという結果となっている．

4.2 異なる音声の補間の検証

楽器の音声

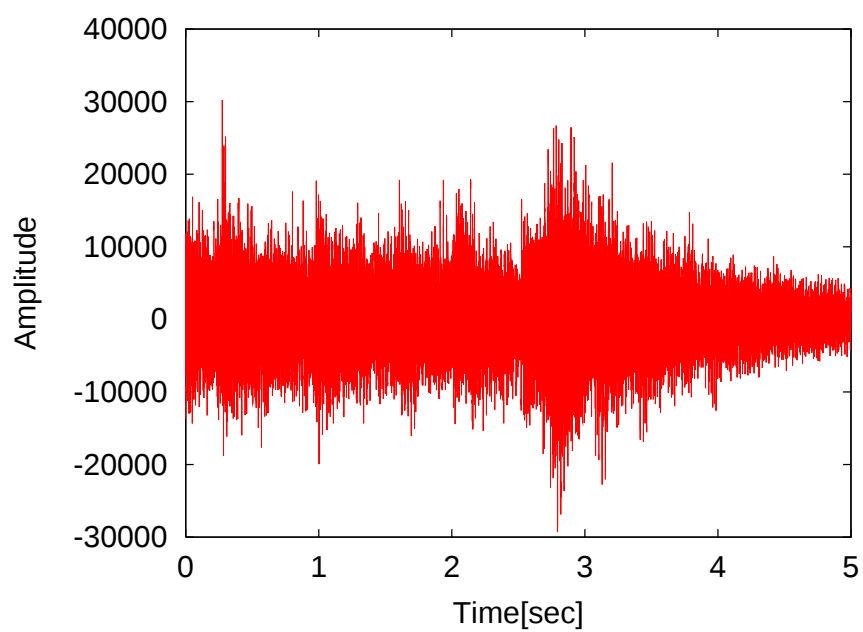


図 4.7 楽器の原音

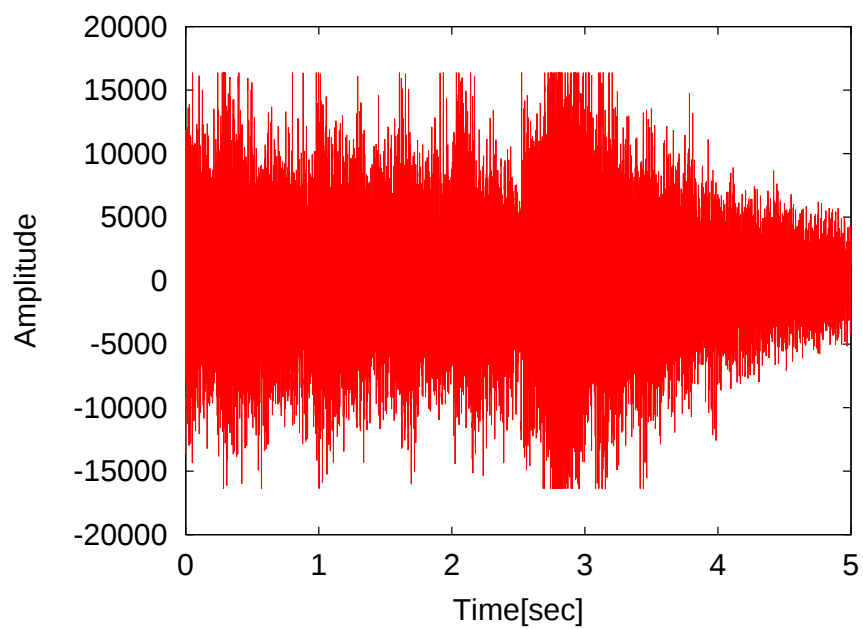


図 4.8 楽器のクリップした音声

4.2 異なる音声の補間の検証

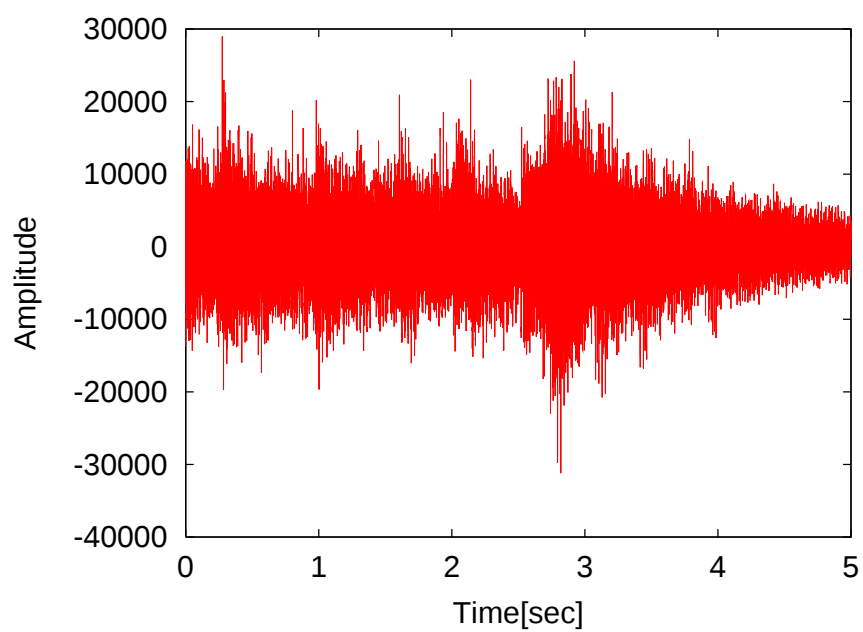


図 4.9 クリップした楽器の音声をスプライン補間

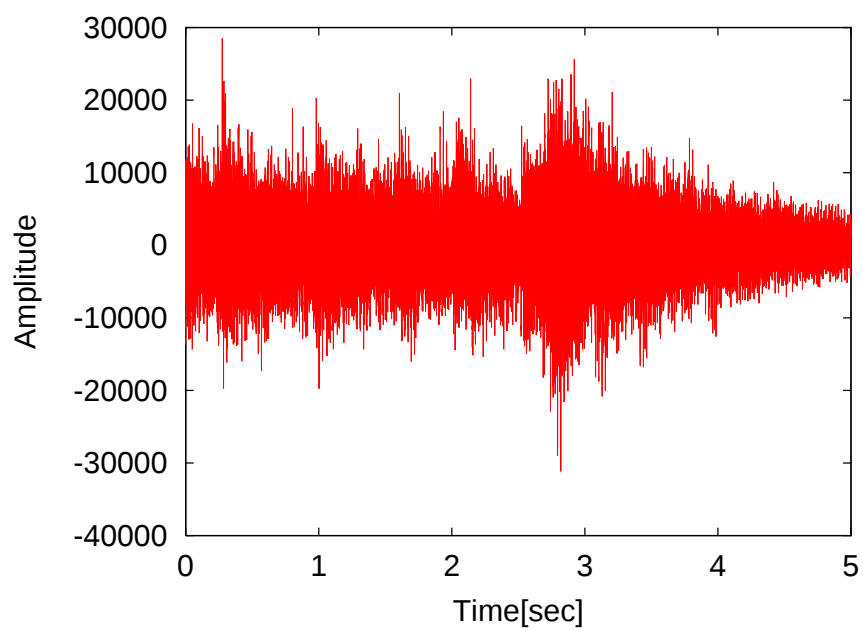


図 4.10 クリップした楽器の音声を加重平均補間

4.2 異なる音声の補間の検証

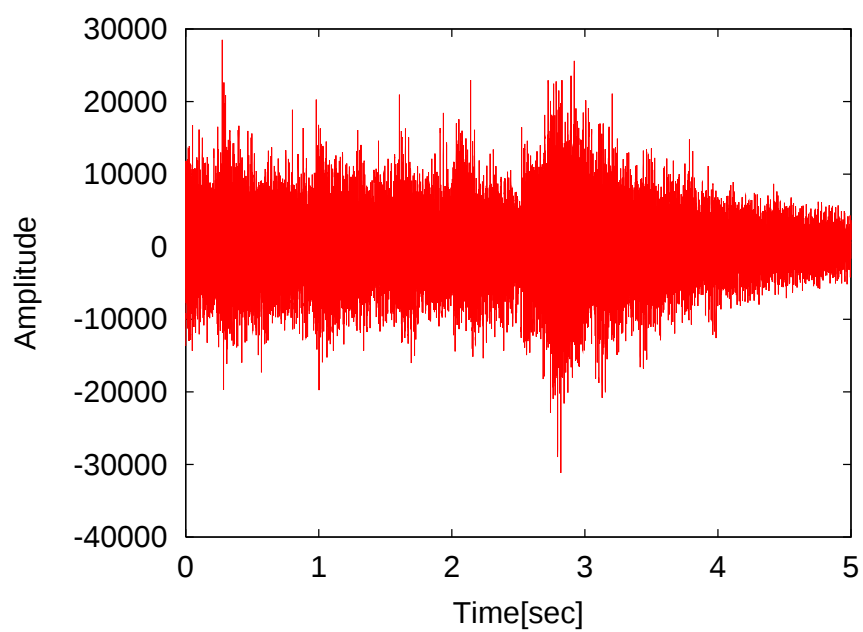


図 4.11 クリップした楽器の音声をラグランジュ補間

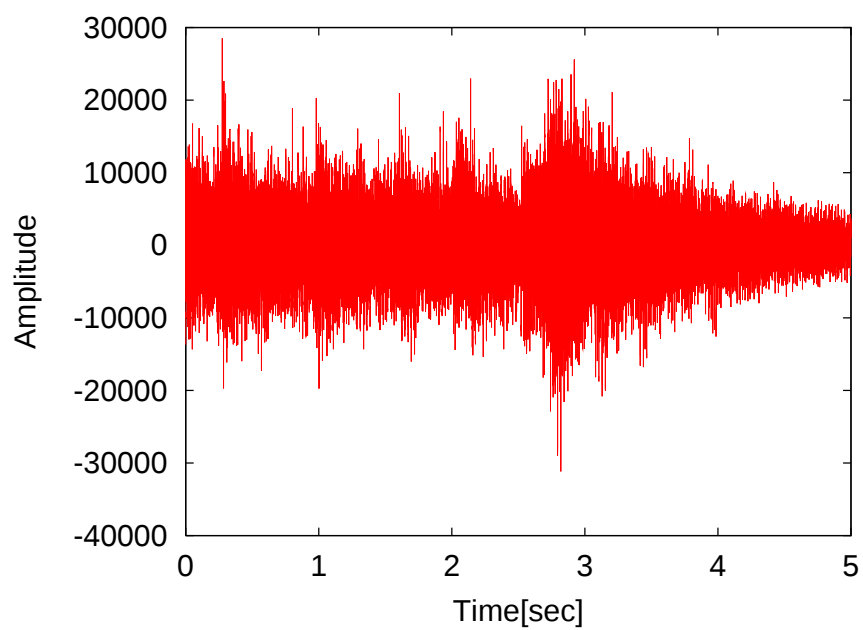


図 4.12 クリップした楽器の音声をニュートン補間

4.2 異なる音声の補間の検証

表 4.2 楽器の音声の原音との誤差

補間名	誤差 [%]
スプライン補間	1.76
ラグランジュ補間	
ニュートン補間	4.79
加重平均補間	

この表 4.2 は、楽器の音声の原音，図 4.7 と人の声をクリップさせた音声をスプライン補間した結果，図 4.9，加重平均補間した結果，図 4.10，ラグランジュ補間した結果，図 4.11，ニュートン補間した結果，図 4.12 を比較し，全体の波形の誤差を計測した結果である．どの補間法も原音を 1 から 5%の誤差がでるという結果となっている．

音楽の音声

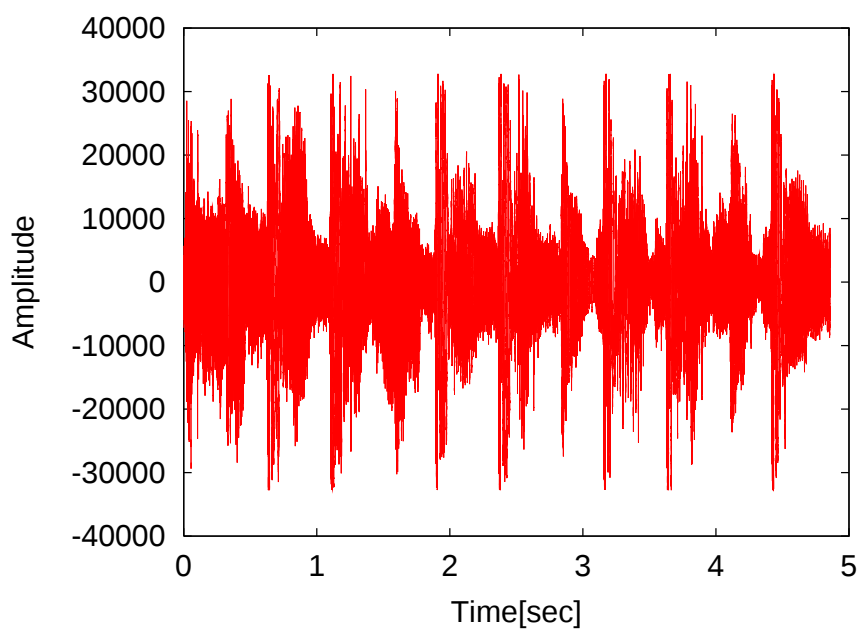


図 4.13 音楽の原音

4.2 異なる音声の補間の検証

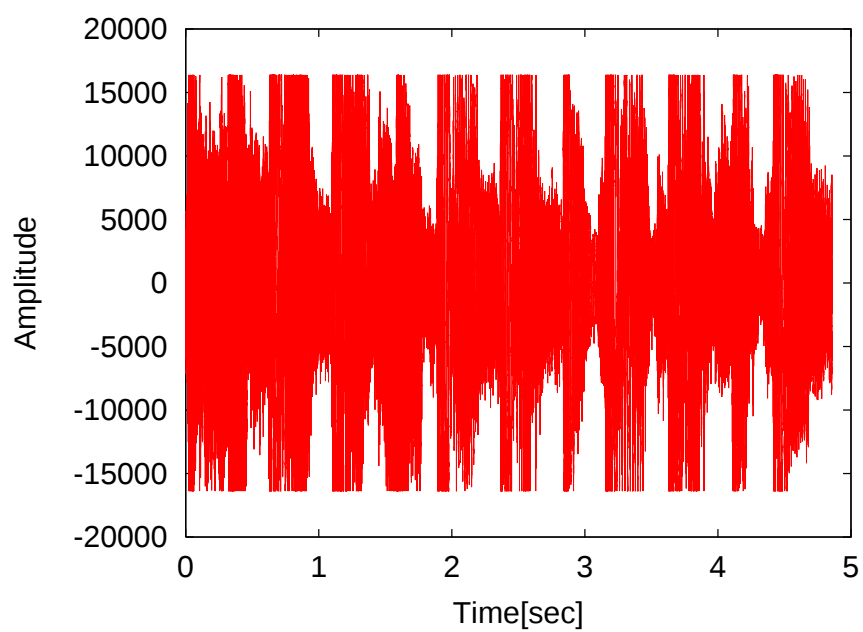


図 4.14 クリップした音楽の音声

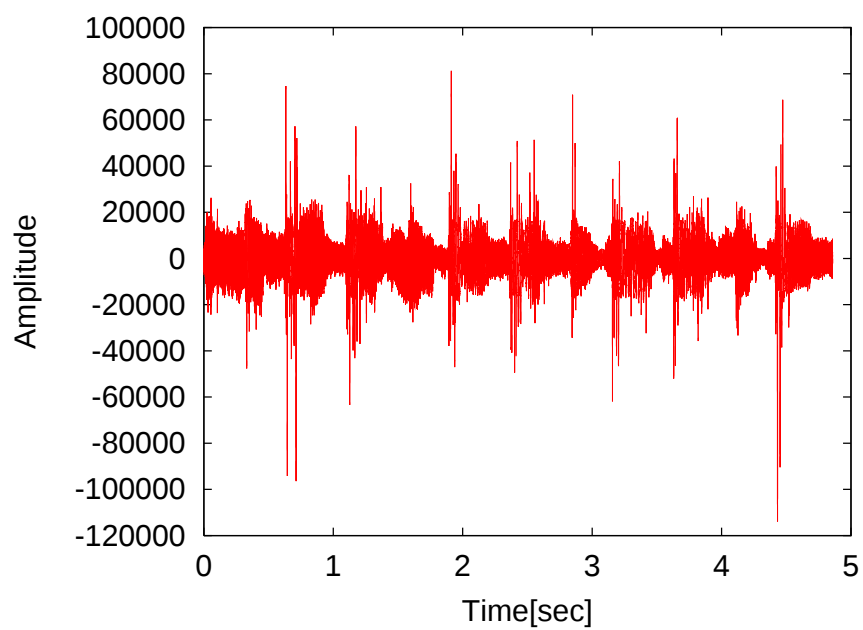


図 4.15 クリップした音楽をスプライン補間

4.2 異なる音声の補間の検証

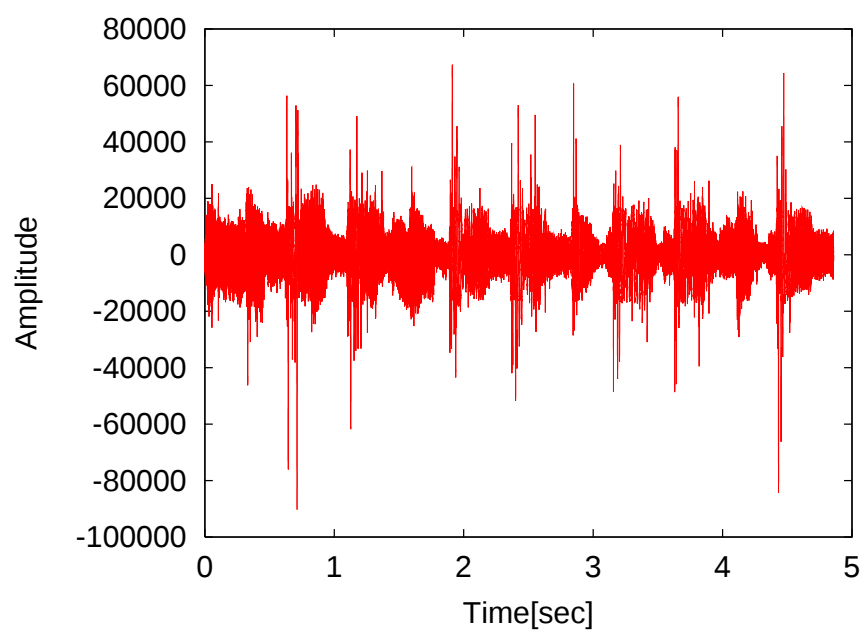


図 4.16 クリップした音楽を加重平均補間

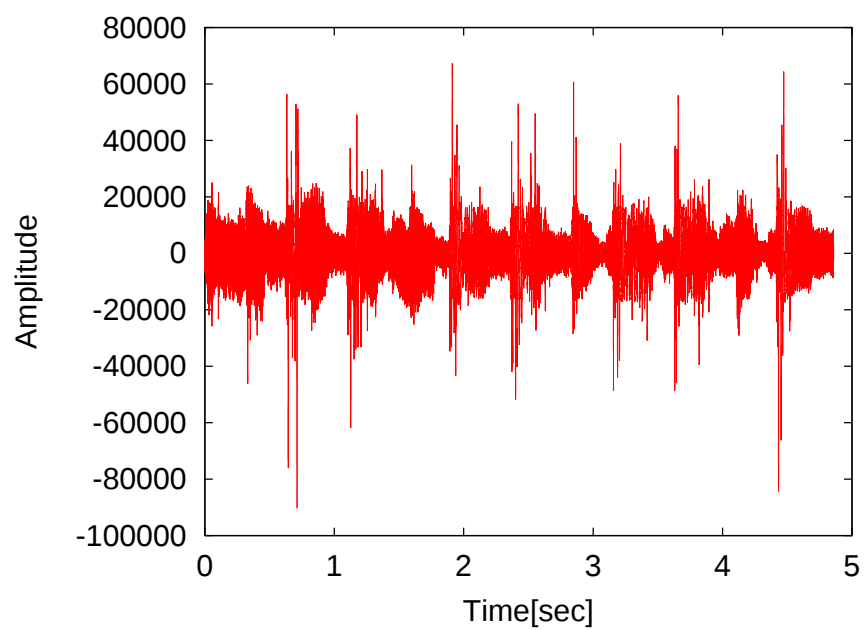


図 4.17 クリップした音楽をラグランジュ補間

4.2 異なる音声の補間の検証

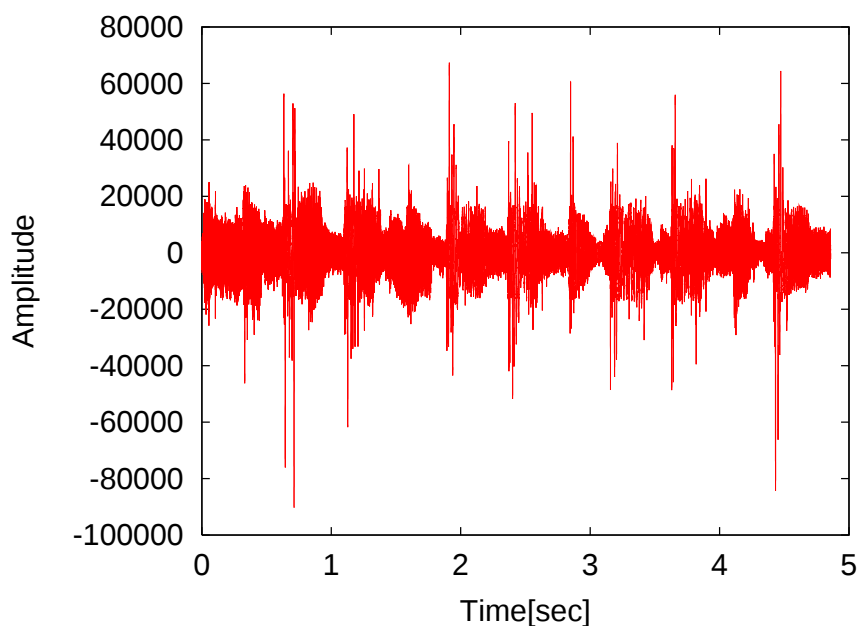


図 4.18 クリップした音楽をニュートン補間

表 4.3 音楽の音声の原音との誤差

補間名	誤差 [%]
スプライン補間	59.38
ラグランジュ補間	
ニュートン補間	43.34
加重平均補間	

この表 4.3 は、音楽の音声の原音，図 4.13 と人の声をクリップさせた音声をスプライン補間した結果，図 4.15，加重平均補間した結果，図 4.16，ラグランジュ補間した結果，図 4.17，ニュートン補間した結果，図 4.18 を比較し，全体の波形の誤差を計測した結果である．どの補間法も原音を 1 から 5%の誤差がでるという結果となっている．

4.2.1 異なる音声の補間の検証結果

人の声の音声，楽器の音の音声，音楽の音声をクリップさせ補間した結果，人の声の原音と補間した結果の誤差は 2 から 5%となり，楽器の原音と補間した結果の誤差は 18 から

4.3 クリッピング歪み軽減の比較

22%, 音楽の原音と補間した結果の誤差は 43 から 59%という結果となった. この結果から, 異なる音声によって原音と補間結果の誤差に差が出た理由として, クリップ部分のデータ数が挙げられる. クリップ部分のデータ数が多くなるにつれ, 誤差が広がっている為, 異なる音声によって有効に補間が行われていないのではなく, クリップ部分のデータ数によって補間結果に誤差が生じる.

4.3 クリッピング歪み軽減の比較

クリップした音声を聴いた場合, クリッピング歪みにより音割れやノイズのような不快な音声になってしまう. そこで, 比較対象の補間法を用いてクリップを修正し, クリッピング歪みを軽減し比較を行う. 比較方法として, クリップした音声を比較対象の補間法で補間し, 被験者に聴いてもらい, クリッピング歪みによる違和感のない音声を選んでもらうことでクリッピング歪み軽減の比較を行う.

4.3.1 クリッピング歪み軽減の結果

比較結果を, 表 4.4 に示す. 最もクリッピング歪みによる違和感の無い音声に, スプライン補間 1 人, どの補間もクリッピング歪みによる違和感はないに 4 人となり, 結果としては, どの補間もクリッピング歪み軽減は有効に行われている事と, 比較対象のどの補間を扱っても, クリッピング歪み軽減に差がでないことがわかる.

表 4.4 クリッピング歪み軽減の比較結果

補間名	最も違和感なく聴き取れた補間法
スプライン補間	1 人
ラグランジュ補間	
ニュートン補間	0 人
加重平均補間	
どの補間も違和感はない	4 人

4.4 原音との比較

4.4 原音との比較

クリップが起こり波形の一部が切り取られた音声は，元の波形が記録されていないため，波形を戻すことは不可能である．そこで，比較対象の補間法を用いた結果から，原音により近い音声となった補間法を比較する．比較方法として，あらかじめクリップの起こっていない原音を被験者に聴いてもらう．その後，原音をクリップさせた音声を比較対象の補間法で補間した結果を聴いてもらい，原音により近いと感じた補間法を選んでもらうことで原音との比較を行う．

4.4.1 原音との比較結果

比較結果を，表 4.5 に示す．原音により近いと感じた補間に，スプライン補間 1 人，ラグランジュ，ニュートン加重平均補間 1 人，どの補間も原音と変わらないに 3 人と，どの補間法を用いても原音との差はない音声になるということがわかる．

表 4.5 原音との比較結果

補間名	原音により近いと感じた補間
スプライン補間	1 人
ラグランジュ補間	
ニュートン補間	1 人
加重平均補間	
どの補間も原音と変わらない	3 人

4.5 演算量の比較

クリッピング歪みの軽減の比較と，原音との比較との結果では，補間法によって差はないという結果となった．そこで，比較対象の補間法の演算量を計測し比較する．5 秒間のデータでデータ数 24,000 個，その内クリップしている部分のデータ数は 700 個の音声のデータから演算量を計測し比較を行う．

4.5 演算量の比較

4.5.1 演算量の比較結果

演算量の比較の結果を 4.6 に示す。この結果から、ニュートン補間が演算量が最も少ないことがわかる。その理由として、導関数を求めるスプライン補間や補間点が増加する度に再計算を行うラグランジュ補間、加重を定義する加重平均補間に比べると、前の補間点を保存することで、次の補間点の計算に対する時間を削減するニュートン補間が最も演算量が少ないからだと考えられる。

表 4.6 演算量の比較結果

補間名	時間 [μsec]
スプライン補間	50.833
ラグランジュ補間	31.944
ニュートン補間	29.444
加重平均補間	31.389

4.5.2 まとめ

異なる音声でも有効に補間されるかの検証では、原音と補間した音声の誤差を求めることで、検証を行った。クリッピング歪み軽減の比較では、クリップした音声を比較対象の補間法を用いて被験者実験で比較した。原音との比較では、あらかじめ原音を聴いてもらい、その後、原音をクリップさせた音声を比較対象の補間法を用いて被験者に聴いてもらった。演算量の比較では、比較対象の補間法の演算量を計測した。結果としては、異なる音声でも有効に補間できるかの検証では、人の声や、楽器、音楽と異なる音声によって、補間が有効に行われなかったということはないが、クリップ数が多くなるにつれて、補間結果は原音に対して誤差が生じることがわかった。

クリッピング歪み軽減の差はなくどの補間も有効に補間されており、補間法によるクリッピング歪み軽減に差はない結果となった。また原音との比較においてもどの補間も原音との差はほとんどなく聴き取れるという結果となった。

4.5 演算量の比較

クリッピング歪みの軽減，原音との比較では補間法により差はあまりなかったが，演算量の比較ではニュートン補間が最も演算量の少ない補間という結果になり，最も効率的な補間法だといえる．

第 5 章

結論

5.1 本研究のまとめ

クリッピング歪み軽減法として近似補間を用いた手法がある。これは、クリップ部分の前後の波形からクリップにより切り取られた部分を推定する手法である。本研究ではクリッピング歪みの軽減法として近似補間を用いて、人間の声や音楽、楽器の音と異なる音声でも有効に補間されるかの検証、クリッピング歪み軽減の比較、原音との比較、演算量の比較を行った。

異なる音声でも有効に補間されるかの検証では、人間の声や楽器の音の音声は有効に補間されていたが、今回使用した音楽の音声のようなクリップ部分のデータ数の多い音声では、原音の波形に極端に差がでてしまい有効に補間されないという結果となった。

クリッピング歪みの軽減の比較においては、クリップの起こった音声をスプライン補間、ラグランジュ補間、ニュートン補間、加重平均補間、を用いて補間し、被験者に聴き比べてもらうことで比較実験を行った。結果は、どの補間法もクリッピング歪みによる違和感なく、クリッピング歪み軽減の差はないという結果となった。

原音との比較では、あらかじめクリップの起こっていない音声を被験者に聴いてもらい、その後、その音声をクリップさせたものに比較対象の補間法を用いて、原音により近い補間を選んでもらい比較実験を行った。その結果、比較対象である補間法のすべてが原音とほとんど差のない音声になるという結果が出た。

演算量の比較では、クリッピング歪みの軽減の比較、原音との比較ではほとんど差はでなかった比較対象の補間法の中で、最も演算量の少ない補間はニュートン補間であることが確

5.2 今後の課題

認でき，最も効率的な補間法であると確認できた．

5.2 今後の課題

本論文では，近似補間によるクリッピング歪みの軽減の有効性を示した．しかし，クリップ部分のデータ数が多くなるにつれて，原音と異なった補間結果になるのでこの場合の対策が必要である．また，意図的にとクリッピング歪みを発生させるディストーションを用いた音楽の場合の対策も必要である．

謝辞

本研究において、理解力の無い私に対し最後まで御指導して頂いた福本昌弘教授に心から感謝致します。また、本研究の副査をして頂きました山際伸一准教授に感謝致します。発表の際、易しい質問にも関わらず頭が真っ白になり、きちんとした回答ができませんでした。今後は、しっかりと回答できるよう努力します。

福本先生には、提出の期限を守らない私に対し厳しく叱って頂いたことで、学生気分の私に社会に出る厳しさを、当り前のルールを教えて頂きました。このことは、私にとって大きな財産となり社会に出てもしっかり働いていけるとおもいます。これもすべて福本先生のおかげです。

同研究室の佐伯幸郎助教、福富英次助手、大変お世話になりました。要領が悪く、理解力のない私に対し夜遅くまで御指導頂きましたことを深く感謝致します。佐伯先生、福富先生には研究についてや、プレゼン、梗概や論文とすべてにおかれまして御指導を頂きました。プログラミングの苦手な私を最後まで見捨てずに卒業まで面倒を見て頂いたことは本当に感謝しています。

御自身も卒業研究に学会と多忙にも係わらず、ドナッツやスイーツを私達に買ってきてくれ、ご馳走して頂いた修士2年、徳久翔太氏には、オープンキャンパスや研究室紹介などの行事で大変お世話になりました。オープンキャンパスでの、カンペ無しでの説明に動揺した私に対しお手本を見せてくれ、大変助かりました。また、研究において切羽詰まっていた私を隣の席からいつも和ませてくれたことを感謝します。徳久氏のおかげで辛い日々を乗り越えました。本当にありがとうございます。

同学年のみなさんにも大変感謝をしております。安藝君には、自分の研究があるにも関わらず私のプログラミングや、研究に関する質問をいつも聴いて頂きました。また、安藝君はアルバイトがあるにも関わらず毎日深夜遅くまで研究をする姿には大変尊敬致しました。厳しい言動もありましたが、安藝君のおかげで私は人間としても成長できました。

謝辞

奥本君には、私が研究のテーマが決まらずに焦っていた時期に良いアドバイスを頂きました。奥本君がいなければ、私は研究のテーマすら決まっていなかったかもしれません。また、奥本君にもプログラミングについて大変お世話になりました。ありがとうございます。

松谷君には、いつも研究で疲れた時にクイズを出してもらいました。松谷君のクイズのおかげであの日の研究の疲れも飛んでいきました。また、いつも笑顔でミンティアをくれた松谷君に感謝します。口の中がすっきりしました。

堀本君とは、同じアパートで隣の部屋でもあり同期の研究室のメンバーの中でも最もプライベートを共にしました。アパートでの生活音等では大変御迷惑をお掛けしました。そして私が暇な時にはいつも遊んでくれ、良い暇潰しとなりました。大変感謝しています。愛媛にいつでも頑張ってください。

舟橋さんには、Gnuplot のの使い方を詳しく教えて下さいました。ありがとうございます。

同研究室の3年生である泰地優太君、来年はもしかすると一人かもしれませんが、挫けることなく研究室活動に励んで下さい。きっと社会に出て役立つと思います。泰地君には、授業でもお世話になりました。泰地君から頂いた授業の過去問がなければ私は、卒業できていなかったと思います。就職活動に卒業研究と来年度は忙しい1年になると思いますが、しっかりと頑張ってください。いつも先輩風吹かしてすみません。

最後に、公私ともに大学生活において支えてくださった全ての皆様感謝致します。

参考文献

- [1] 横山 克哉 “AV 機器測定技術”, 昭晃堂,2000.
- [2] 石井 直樹 “音声工房を用いた音声処理入門”, コロナ社,2004.
- [3] 若林 駿介 著 “レコーディング技法入門”, オーム社, 1993.
- [4] 水島 二郎, 柳瀬 眞一郎 “新・数理工学ライブラリ 理工学のための数値計算法”, 数理工学社, 2003.
- [5] 奈良 久, 早川 美浦, 阿部 亨 “数値計算法”, 朝倉書店, 1991.
- [6] 小国 力 “新数値計算法 数値計算とデータ分析”, サイエンス社, 1997.
- [7] 市野 良典 “オーディオ機器”, コロナ社,1991.
- [8] ナミール・シャンマ 著 鈴木治郎 訳 “c/c++数値計算アルゴリズムブック”, 海文堂出版株式会社, 1997

付録 A

近似補間

A.0.1 ラグランジュ補間

ラグランジュ補間は、いくつかの点 $x = x_i (i = 0, 1, 2, \dots, N)$ での値 $y_i = f(x_i)$ が与えられたとき、 $f(x)$ を近似する近似多項式 $f_N(x)$ を

$$f_N(x) = \sum_{j=0}^N c_j x^j \quad (\text{A.1})$$

とする。 $f_N(x)$ を N 次の多項式とした理由は、補間の条件

$$f_N(x) = y_i \quad (i = 0, 1, 2, \dots, N) \quad (\text{A.2})$$

を課したとき、未知数 $c_i (i = 0, 1, 2, \dots, N)$ の個数 $N + 1$ が方程式の数 $N + 1$ と一致するため、このようにして構成した補間多項式 $f_N(x)$ を N 次ラグランジュ補間多項式とよぶ。ラグランジュ補間とよぶ。係数 c_j は連立一次方程式

$$\sum_{j=0}^N c_j x_i^j = y_i \quad (i = 0, 1, 2, \dots, N) \quad (\text{A.3})$$

を解くことによって求められる。連立 1 次方程式 (A.3) は

$$Vc = y \quad (\text{A.4})$$

$$c = \begin{bmatrix} c_0 \\ c_1 \\ c_2 \\ \vdots \\ c_N \end{bmatrix}, y = \begin{bmatrix} y_0 \\ y_1 \\ y_2 \\ \vdots \\ y_N \end{bmatrix}, V = \begin{bmatrix} 1 & x_0 & x_0^2 & \cdots & x_0^N \\ 1 & x_1 & x_1^2 & \cdots & x_1^N \\ 1 & x_2 & x_2^2 & \cdots & x_2^N \\ \vdots & \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ 1 & x_N & x_N^2 & \cdots & x_N^N \end{bmatrix} \quad (\text{A.5})$$

と書ける．ここで $\det V$ はヴァンデルモンドの行列式とよばれ，この方程式を (A.5) を数値的に解くと，丸め誤差の影響を受けやすい．しかし，次のようにすれば，連立一次方程式 (A.4) を解かずに $f_N(x)$ を求めることができる．最初に 3 点 $(x_0, y_0), (x_1, y_1), (x_2, y_2)$ を通る補間多項式を求める．これは 2 次関数

$$f_2(x) = \frac{(x-x_1)(x_0-x_1)}{(x-x_2)(x_0-x_2)}y_0 + \frac{(x-x_0)(x-x_2)}{(x_1-x_0)(x_1-x_2)}y_1 + \frac{(x-x_0)(x-x_1)}{(x_2-x_0)(x_2-x_1)}y_2 \quad (\text{A.6})$$

である．これをくり返すと $N+1$ 点が $x_0, x_1, \dots, x_N$ を通る N 次多項式となることがわかる．このようにして与えられた任意の補間点を通る補間多項式が得られる．

ラグランジュ補間多項式 $n+1$ 次多項式

$$p_n(x) = (x-x_0)(x-x_1)\cdots(x-x_n) \quad (\text{A.7})$$

を用いて表すと

$$f_N(x) = \sum_{i=0}^N \frac{p_N(x)}{p'_N(x_i)(x-x_i)} y_i \quad (\text{A.8})$$

と書ける．ここで $p'_N(x_i)$ は $p_N(x)$ の $x = x_i$ における微分係数である．

A.0.2 ニュートン補間

ニュートン補間とは，近似多項式 $f_N(x)$ は $p_N(x)$ の $x = x_i$ における微分係数である．そのために関数の差分商を定義する．関数 $f(x)$ に対して

$$F[x_0, x_1] = \frac{f(x_0) - f(x_1)}{x_0 - x_1} \quad (\text{A.9})$$

を $f(x)$ の 1 階差分商という．これを逐次的にくり返して n 階差分商は

$$\begin{aligned} F &= [x_0, x_1, x_2, \dots, x_{n-1}, x_n] \\ &= \frac{F[x_0, x_1, \dots, x_{n-2}, x_{n-1}] - F[x_0, x_1, \dots, x_{n-2}, x_n]}{x_{n-1} - x_n} \end{aligned} \quad (\text{A.10})$$

で定義される。また、0 階の差分商は

$$F[x_0] = f(x_0) \quad (\text{A.11})$$

とする。いくつかの点 $x = x_i (i = 0, 1, 2, \dots, N)$ での $f(x)$ の値 y_i が与えられたとき、 $f(x)$ の近似多項式 $f_N(x)$ を

$$\begin{aligned} f_N(x) &= a_0 + a_1(x - x_0) + a_2(x - x_0)(x - x_1) + \dots \\ &\quad + a_N(x - x_0)(x - x_1) \cdots (x - x_{N-1}) \\ &= \sum_{i=0}^N a_i p_{i-1}(x) \end{aligned} \quad (\text{A.12})$$

のように表す。ただ、 $p_{-1}(x) = 1$ とする。これは

$$a_0 = f_N(x_0) = f(x_0) = F_N[x_0] \quad (\text{A.13})$$

である。ここで、 $F_N[x_0]$ は $f_N(x)$ の 0 階の差分商であり、以下、 $F_N[x_0, x_1, \dots, x_{n-1}, x_n]$ は $f_N(x)$ の n 階の差分商である。定義 (A.9) に従って、

$$\begin{aligned} F_N[x_0, x] &= \frac{f_N(x) - f_N(x_0)}{x - x_0} \\ &= a_1 + a_2(x - x_1) + a_3(x - x_1)(x - x_2) + \\ &\quad \cdots + a_N(x - x_1)(x - x_2) \cdots (x - x_{N-1}) \end{aligned} \quad (\text{A.14})$$

が得られる。式 (A.14) より

$$a_1 = F_N[x_0, x_1] \quad (\text{A.15})$$

が得られ、これを逐次的にくり返すと

$$a_i = F_N[x_0, x_1, x_2, \dots, x_i] \quad (i = 0, 1, 2, \dots, N) \quad (\text{A.16})$$

が得られる。ここで選点 x_i において $f_N(x_i)$ はもとの関数はもとの関数の値 $f(x_i)$ と一致することを示すことができ、また、関数 $f_N(x)$ の差分商 $F_N[\]$ と $f(x)$ の差分商 $F[\]$ はともに同じ補間点の値だけで決まるため、 $F_N[\]$ と $F[\]$ は同じ値になり、

$$a_i = F[x_0, x_1, x_2, \dots, x_i] \quad (i = 0, 1, 2, \dots, N) \quad (\text{A.17})$$

と書くことができる．以上の結果よりニュートン補間公式

$$f_N(x) = \sum_{j=0}^N F[x_0, x_1, x_2, \dots, x_i] p_{i-1}(x) \quad (\text{A.18})$$

が得られる．

A.0.3 加重平均補間

加重平均補間では， $x = x_0, x_1, \dots, x_i$ における関数の値 $f(x_0), f(x_1), \dots, f(x_i)$ の重みつき 1 次結合

$$\begin{aligned} w_0 f(x_0) + w_1 f(x_1) + \dots + w_i f(x_i) + \dots + w_n f(x_n), \\ w_0 + w_1 + \dots + w_n = 1 \end{aligned} \quad (\text{A.19})$$

を計算する．加重平均では，重み w_i と項の数 i をどのように選ぶかに重点をおかれ， $x = x_i + 1$ での関数値 $f(x_n + 1)$ を

$$f(x_n + 1) \approx w_k f(x_{n-k}) + w_{k-1} f(x_{n-k+1}) + \dots + w_0 f(x_n) \quad (\text{A.20})$$

で近似することを意味している．

加重平均の最も簡単な例は，2 点 2 点 $(x_1, y_1), (x_2, y_2)$ を結ぶ直線の方程式のパラメータ表示である．

$$\begin{cases} x = (1-t)x_1 + tx_2 \\ y = (1-t)y_1 + ty_2 \end{cases} \quad 0 \leq t \leq 1$$

上の 2 つの式から t を削除すれば，

$$y - y_1 = \frac{y_2 - y_1}{x_2 - x_1} (x - x_1) \quad (\text{A.21})$$

が得られる．

A.0.4 スプライン補間

スプライン補間は，小さい数から大きさの順に並んだ $N + 1$ 個の補間点を $x_0, x_1, \dots, x_N$ とし，さらに x_N の右側に補助的な点 x_{N+1} をとる．これらの点における $f(x)$ の値を

$f_i(i = 0, 1, 2, \dots, N)$ とする. 第 i 番目の区間 $[x_{i-1}, x_i]$ で $f(x)$ を次の 3 次多項式で近似するこれが 3 次のスプラインの第 i 番目の区間での関数型である.

$$P_i(x) = C_{1,i} + C_{2,i}(x - x_{i-1}) + C_{3,i}(x - x_{i-1})^2 + C_{4,i}(x - x_{i-1})^3, \\ (i = 1, 2, \dots, N) \quad (\text{A.22})$$

補間関数 $P_i(x)(i = 1, 2, \dots, N)$ を決めるためには $4N$ 個の係数 $C_{j,i}(j = 1, 2, 3, 4, i = 1, 2, \dots, N)$ が未知数で, これが決まれば補間関数が決定される.