

## セルオートマトンのルール対 (90,180) によるデジタル音信号の可逆圧縮手法

The Lossless Compression Description Technique of the Digital Sound Signal  
by Feature of the Rule Set (90,180) in Cellular Automata

加藤 達也† 黒岩 丈介† 小倉 久和† 小高 知宏† 白井 治彦‡

Tatsuya Katoh Jousuke Kuroiwa Hisakazu Ogura Tomohiro Odaka Haruhiko Shirai

## 1 はじめに

我々はこれまでに、1 次元 2 状態 3 近傍セルオートマトン (以後 1-2-3 CA と記す) のルールを用いた、デジタル音信号記述に関する研究を行ってきた [1-3]。そこでは、256 個ある 1-2-3 CA のルールのうち、2 つのルールを複数回適用することで、再現誤差なく完全可逆な形式で記述可能であることを示している。[1] 複雑な音信号を離散力学系である 1-2-3 CA のルールで記述できることは、音信号に潜在すると考えられる何らかの法則の表現を 1-2-3 CA のルールで与えているといえる。一方、データの複雑性について考えると、記述した際のデータ量 (情報量) はルール系列長で決定される。つまり、データの複雑性とルール系列長には何らかの関係があると考えられる。そこで、音信号に潜在する法則・複雑性を研究するためには、出来る限り、短いルール系列長で記述を実現する必要がある。これまでの研究により、短いルール系列長を与えるという意味で最も記述性能が高くなるルール対が (#90, #180) であることを明らかにしている [2, 3]。また、ルール対 (#90, #180) の特性として、ダイナミックレンジが小さいほど、記述性能が高くなる [3]。以上の事実により、直接差分処理を施すことで、1 部のデータを除いて、完全可逆圧縮記述を実現した。しかしながら、原データ量よりも大きくなる場合が存在し、全ての音信号に対して原信号よりデータ量の削除ができていない。

そこで本研究では (1) 繰り返し差分をすることでダイナミックレンジの変化の様子、及び (2) 記述によって得られるデータ量、以上の 2 点を明らかにすることを研究の目的とする。これより、全てのデータに対して、完全可逆圧縮記述が実現できると考えられる。

## 2 デジタル音信号の可逆圧縮記述手法

1-2-3 CA とルール記述の基本的アイデアについては、参考文献 [2, 3] を参照し、ここでは、省略する。

これまでの研究により、対象データに直接時間差分処理を施し、ルール対 (#90, #180)、固定境界条件は (L1, R0) で記述を行うことにより、1 部のデータを除いて、完全可逆圧縮記述を実現した [3]。

記述するには、まず初めに用いる固定境界条件を可能な 4 種、L0-R0, L1-R0, L0-R1, L1-R1 の中から 1 つ決定する。L0 とは左境界条件を 0 と固定することであり、R1 とは右境界条件を 1 と固定することを意味する。次に、記述に用いるルール対を決定する。そして、1-2-3 CA の初期状態を、デジタル音信号の最初の時刻のビットパターンとする。時刻  $t$  から時刻  $t+1$  のビットパターン変化を生成する 2 つのルールの組み合わせを全数探索する。その中から、最小のルール系列長となるのを適用する。この作業を行うことでこのステップでの記述を終了する。これを全てのデータ間に対して

表 1: ルール対 (#90, #180) 固定境界条件 (L1-R0) で記述した際の平均ルール系列長 (圧縮率)。

Sound	直接差分処理			
	1 回	2 回	3 回	4 回
JPOP				
sample 1	12.02 (1.001)	11.62 (0.976)	11.77 (0.986)	12.16 (1.010)
sample 2	12.15 (1.009)	11.43 (0.965)	11.68 (0.980)	12.20 (1.013)
sample 3	12.06 (1.004)	11.52 (0.970)	11.77 (0.986)	12.31 (1.019)
sample 4	12.14 (1.009)	11.48 (0.968)	11.58 (0.974)	11.99 (0.999)
Sound	直接差分処理			
	1 回	2 回	3 回	4 回
classic				
sample 1	7.55 (0.722)	6.16 (0.635)	6.31 (0.644)	7.09 (0.693)
sample 2	7.69 (0.731)	6.38 (0.649)	6.42 (0.651)	7.18 (0.699)

同じルール対、固定境界条件で行うことで、ルールによる記述が完了する。これにより、1-2-3 CA による可逆記述が可能となる。

## 3 計算機実験

## 3.1 実験目的と方法

対象データは、ATR 研究所から提供された発話データ (16 個)、CD から抽出した音楽データ (JPOP, classic の計 4 曲) である。各音楽データは、1 秒間隔に区間分けしており、30 区間存在する。また、発話データは、男女各 2 名が 4 単語を発話したデータである。

これまでの研究より、直接差分処理を施すことで、1 部のデータを除いて、完全可逆圧縮記述を実現した。しかしながら、原データ量よりも大きくなる場合が存在する。そこで、繰り返し直接差分処理を施すことにより、ビットパターンの変化、及びダイナミックレンジの変化について分析を行なう。その上で、記述によって得られるデータ量について調査する。

## 3.2 繰り返し差分によるダイナミックレンジの変化

デジタル音信号の一般的に見られる特性は、高ビット領域のビットパターンは帯状に 0 の領域が連続的に現われている。高ビット領域のビットパターンは帯状に 0 の領域が連続的に現われている領域が広い程、ルール系列長が短くなるということが明らかにしている。

そこで、対象データの高ビット領域に注目して、繰返し直接差分処理によるビットパターン変化について調査を行なっ

† 福井大学大学院工学研究科

‡ 福井大学工学部

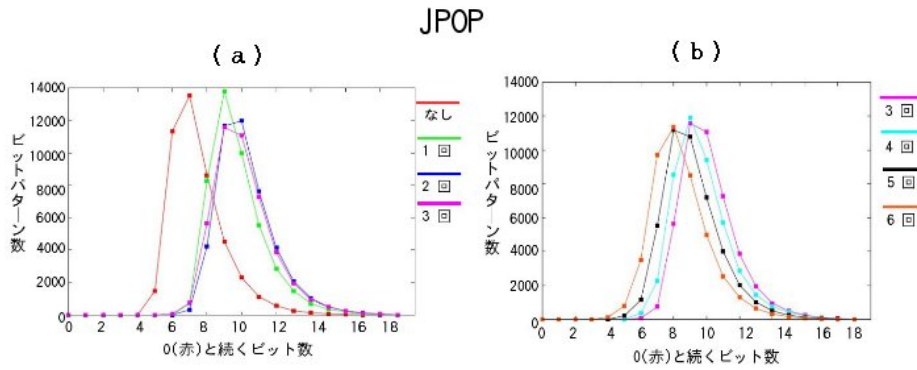


図 1: JPOP データ (sample 1) の高ビット領域に見られる 0 が連続的に現れる領域の広さ (ビット数) とそのビットパターン数. 直接差分処理を施した数により色分けしてある.

た. 結果を図 1 に与える. 図 1 (a) より, 直接差分処理を 1, 2 回施す時, 高ビット領域のビットパターンは帯状に 0 の領域が連続的に現われている領域が広がっていることが分かる. しかし, 図 1 (b) より, 直接差分処理を 3 回以上施すと. 高ビット領域のビットパターンは帯状に 0 の領域が連続的に現われている領域が狭くなることが分かる.

次に, 繰返し直接差分処理によるダイナミックレンジの変化を調べるためにリターンプロットを用いて分析した. 具体的には, 各時刻の離散データ  $a_i^t$  を十進数  $x^t$  で表現し,  $(x^t, x^{t+1})$  の値を 2 次元平面にプロットする. その際, 直接差分処理を各回数施したデータの全時間をプロットし, それぞれ比較した. 図 2 に直接差分処理を 0 回 (図 2(a)), 1 回 (図 2(b)), 2 回 (図 2(c)), 6 回 (図 2(d)) 施したデータのリターンプロットを与える. 図より, 直接差分処理を 1, 2 回施す時, ダイナミックレンジが小さくなっていることが分かる. 逆に, 6 回施す時, ダイナミックレンジが大きくなることが分かる.

直接差分処理は,  $x_t = x_{t+1}$  付近にプロットしていれば, 処理後のデータ値は小さくなる. 逆に  $x_t = x_{t+1}$  から離れた所にプロットしていれば, 処理後のデータ値は大きくなる. つまり, 直接差分処理を数回施すことによって, 直接差分処理に適さないデータが広がり, ダイナミックレンジが大きくなったと考えられる.

### 3.3 記述データ量

実際に直接差分処理を 1 ~ 4 回施したデータの記述結果を表 1 に与える.

表 1 より, 音楽データに関しては, 直接差分処理を 2 回施したデータが最も平均ルール系列長が短くなり, 圧縮率が高くなっていることが分かる. 特に, classic データは原データ量より 4 割近く削減に成功していることが分かる. これまでに可逆圧縮記述の実現できなかったデータに対しても可逆圧縮記述を可能にした. 直接差分処理を 3, 4 回施した場合, データ量が増大した. これは, 前節により, ダイナミックレンジが大きくなったためだと考えられる. また, JPOP または, classic の各 sample データは, 同じ曲の 1 秒間のデータなので, 平均ルール系列長がほぼ同じになっていると考えられる.

## 4 まとめ

本研究により, 繰返し直接差分処理を行なった際のダイナミックレンジの変化, 及びそれによって得られるデータ量について明らかにした. その結果, 直接差分処理を 2 回施すこ

とにより, 可逆圧縮記述が実現した. この手法を施したビットパターンからデジタル音信号の複雑性を明らかにできると考えられる.

### 参考文献

- [1] M. Wada, J. Kuroiwa, S. Nara, Completely Reo-  
producible Description of Digital Sound Data with  
Cellular Automata, Phys. Lett. A, Vol.306, pp.110-  
115, 2002
- [2] T. Yamada, J. kuroiwa, I. takahasi, T. Odaka,  
H. Ogura, S. Nara, Dynamical Features of Cel-  
lular Automata Rules in Describing Digital Sound,  
NOLTA2005 Belgium Bruges, Oct. 2005
- [3] 加藤 達也, 黒岩 丈介, 小倉 久和, 小高 知宏, 白井 治  
彦, セルオートマトンのルールによるデジタル音信号  
の可逆圧縮記述手法の確立, IEICE Technical Report,  
FIT2008-143(2009-2)

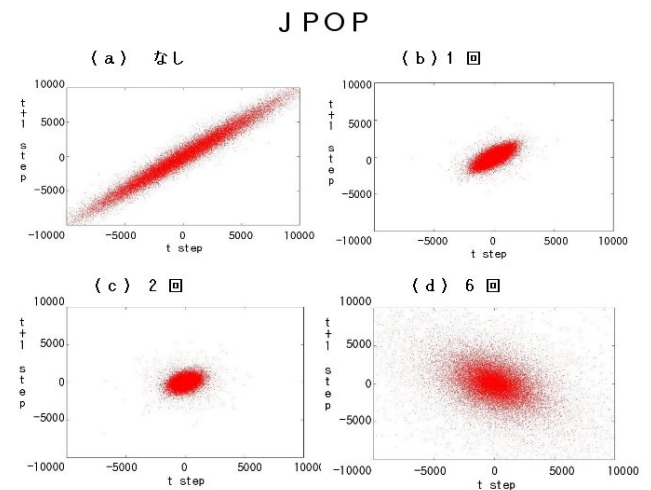


図 2: JPOP データ (sample 1) のリターンプロット. 差分処理を施した回数: (a) なし, (b) 1 回, (c) 2 回, (d) 6 回.