

画像中に撮影された物差しの目盛り間隔検出

馬場 隆[†] 上田 和章^{††} 中川 祐治^{†††}

^{†,††} 愛媛大学大学院理工学研究科 〒790-8577 愛媛県松山市文京町3番

^{†††} 愛媛大学総合情報メディアセンター 〒790-8577 愛媛県松山市文京町3番

E-mail: [†]vava@mserv.sci.ehime-u.ac.jp, ^{††}ueda@comp.cs.ehime-u.ac.jp, ^{†††}yuji@cite.ehime-u.ac.jp

あらまし 対象となる物体の大きさを表すために尺度となる物差しなどを物体のそばに置き同時に撮影する場合がある。このような画像がデータベースの検索結果として得られた場合、物体の大きさを自動計測できれば検索結果をより高度に利用する事ができる。この目的で、画像中に撮影された物差しの目盛り間隔を検出する手法を開発した。画像を二次元離散的フーリエ変換により周波数空間に変換すると、物差しの目盛り部分は周期的な線（縞模様）となっているので、周波数空間では特定の値を持つことになる。この周波数が判明すれば、それにより縞模様の間隔、すなわち目盛りの間隔を求めることができる。さらに画像上で目盛り間隔が求まれば、対象物体の大きさを画像上で測定することが原理的に可能となる。本論文では、この目盛り間隔検出方法について述べる。

キーワード 画像データベース, フーリエ変換, 物差し

Detection of Scale Interval on a Ruler in Digital Image

Takashi BABA[†], Kazuaki UEDA^{††}, and Yuji NAKAGAWA^{†††}

^{†,††} Graduate School of Science and Engineering, Ehime University Bunkyou-cho 3, Matsuyama-shi, Ehime, 790-8577 Japan

^{†††} Center for Information Technology, Ehime university Bunkyou-cho 3, Matsuyama-shi, Ehime, 790-8577 Japan

E-mail: [†]vava@mserv.sci.ehime-u.ac.jp, ^{††}ueda@comp.cs.ehime-u.ac.jp, ^{†††}yuji@cite.ehime-u.ac.jp

Abstract When we have a digital image which contains some objects and a ruler, we know the size of objects by rough estimate. Since measuring the object size in the digital image is usually manual, we developed the detection method of scale interval on a ruler. In our method we transfer digital image into frequency space using two-dimensional discrete fourier transformation, a specific frequency appears. This means that the image have cyclic pattern like scale on a ruler. Thus we can calculate the scale interval by the detected frequency.

Key words Image Data Base, Fourier transform, Ruler

1. まえがき

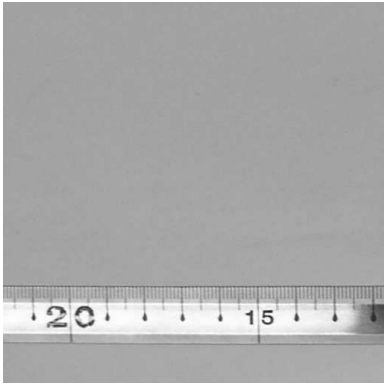

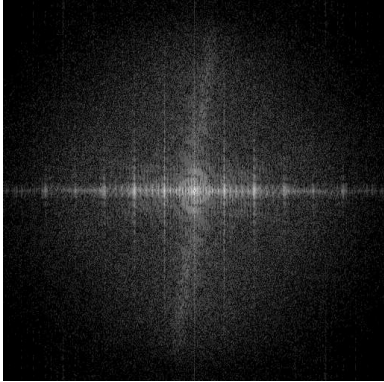
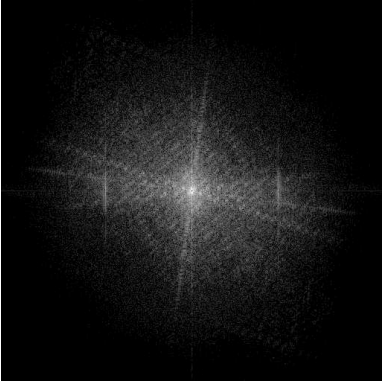
本研究は、政府が推進するRR2002（新世紀重点研究創生プラン）[1]の環境分野における、「人・自然・地球共生プロジェクト」[2]の一分野である、水循環変動予測ミッションの「インドシナ半島における水環境の化学汚染実態の解明と汚染除去技術の開発」[3]でのデータベース構築に関する研究の一部である。上記の研究におけるアウトプットはデータベース化され、全世界に広く公開されるが、蓄積されるデータは数値データと画像データがある。数値データについてはWebでの可視化を行い、画像データについては画像間検索を可能にするシステムを構築しつつある。本研究は、画像データを蓄積したデータベースの検索結果に対して、より高度な利用を可能にす

るための要素技術を提供するものである。

撮影対象となる物体の大きさを大まかに知るために、表1-(b-1)のように物差し等の尺度を物体と同時に撮影する場合がある。このような画像では、目視により物体の大きさを大まかに知る事ができるが、物体と物差しが平行でない、あるいは複数の物体が同時に撮影されている場合には、その測定をより厳密に行うことが必要になる。このような状況で、ユーザに負担をかけず、かつ正確な測定を行うには、物差しの目盛りを自動的に認識し、基本単位の目盛りが画像上でどれほどになるのかを導き出すことが必要である。そこで、物体と共に物差し等の尺度が撮影された画像において、物差しの画像上での目盛り間隔を検出する事で、検索結果画像に含まれる物体の大きさを自動計測し、検索結果の有効利用を考えた。

表1 物差しが撮影された画像

Table 1 Image of ruler

	物差しのみ	物差しと物体
原画像		
周波数空間		
	(a-1)	(b-1)
	(a-2)	(b-2)

本論文では、物差しが撮影されている画像から二次元離散的フーリエ変換を用いて目盛り間隔を検出する方法について述べる。ここで扱う物差しおよび撮影方法は以下の条件を満たすものとする。

- i. 物差しは金属や竹等作られた不透明なもの
- ii. 物差しの目盛り間隔が一定である。
- iii. 物差しの真上から撮影する。
- iv. 物差しが十分な長さ撮影されていること
- v. 物差しと画像の x 軸が平行

本手法では画像全体に渡って物差しの目盛りを抽出するので、画像の至る所で目盛り間隔が一定であることが必要である。従って、上記 ii, iii の条件は必須である。さらに、問題を簡略化するため、v の条件を前提としているが、論文の最後で述べるように条件から外すことが可能である。

2. 目盛り検出の原理

画像中に物差しの目盛りのような等間隔で並ぶパターンが撮影されている場合 (表 1- (a-1))、これに二次元離散的フーリエ変換 (Discrete Fourier Transform: DFT) を行くと表 1- (a-2) のように横軸に垂直な筋として観測される。表 1- (a-2) に撮影された物差しの目盛りは垂直方向

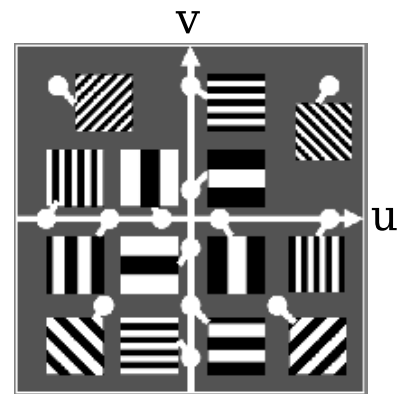


図1 画像と周波数空間の関係 (参考: [7])

Fig. 1 Relation between image and frequency space

に並んでいるので、周波数空間では水平周波数のみを持つ。従って、図 1 に示されるようにパターン間隔と方向から u, v 空間上での場所が定まるので、物差しの目盛りは u 軸上に存在する。ここで、 u 軸は水平周波数、 v 軸は垂直周波数である。二次元離散的フーリエ変換は、画像サイズを $M \times N$ 、座標 (m, n) における原画像の濃度値を $x(m, n)$ とすると、水平周波数 u_p 、垂直周波数 v_p における周波数成分 $X(u_p, v_p)$ は次式により求められる。

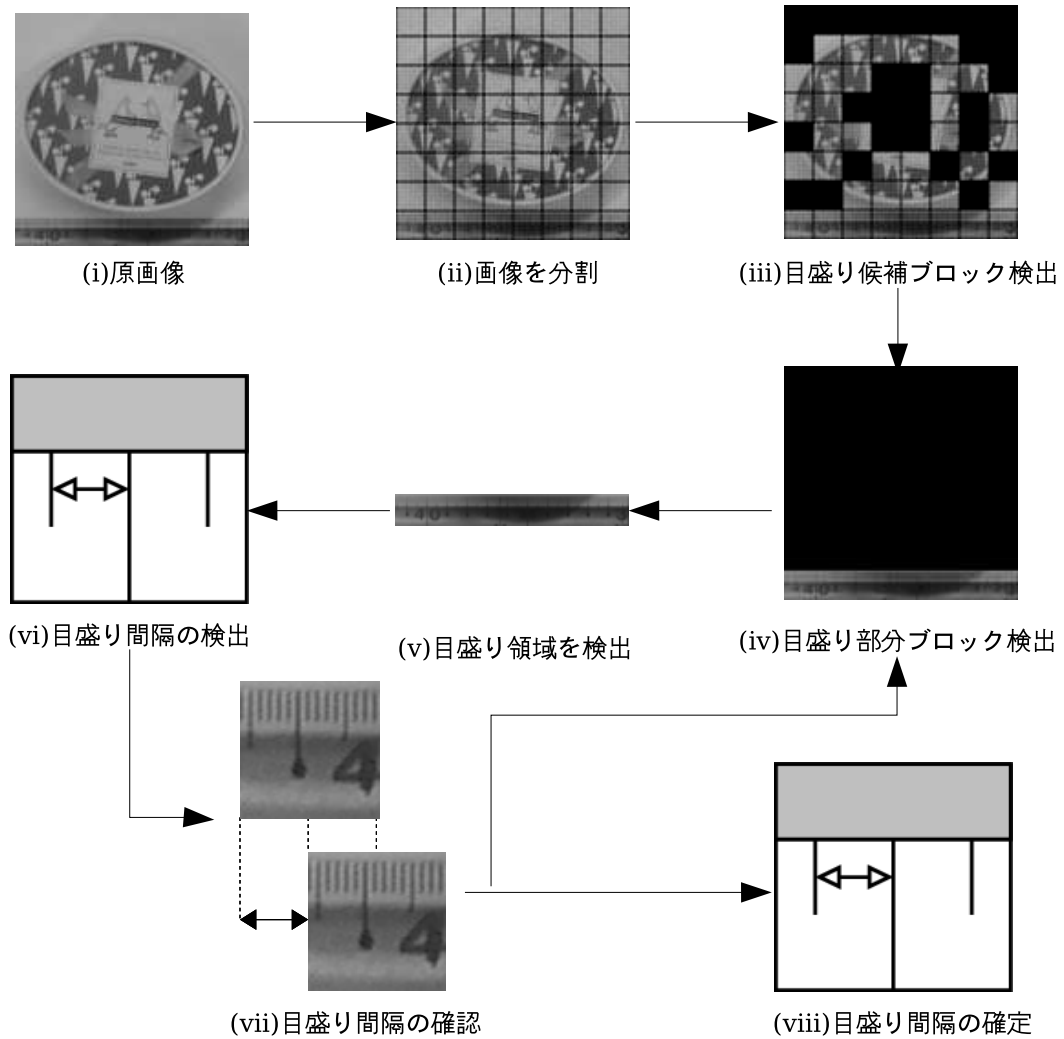


図2 処理の流れ図

Fig. 2 Flowchart of the process

$$X(u_p, v_q) = \frac{1}{\sqrt{MN}} \sum_{m=0}^{M-1} \sum_{n=0}^{N-1} x(m, n) e^{-2\pi i (\frac{um}{M} + \frac{qn}{N})} \quad (1)$$

$$u_p = \frac{p}{M}, v_q = \frac{q}{N}$$

$$p = -\frac{M}{2}, -\frac{M}{2} + 1, \dots, \frac{M}{2} - 1$$



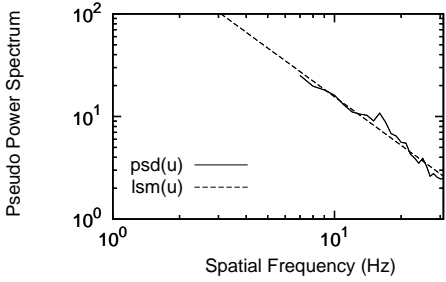

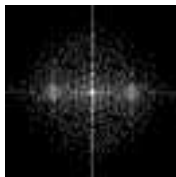
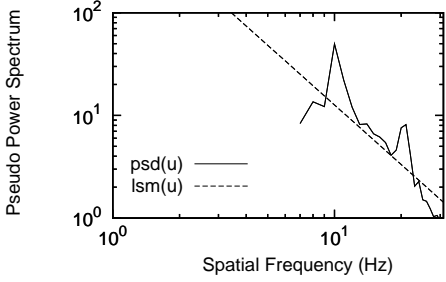
$$q = -\frac{N}{2}, -\frac{N}{2} + 1, \dots, \frac{N}{2} - 1$$

このように、画像中に物差しが目盛りが撮影されている場合に二次元離散的フーリエ変換を行い、目盛り間隔の周波数を求める事で目盛り間隔を画像上で決定することができる。しかし、表1-(b-1)のように物差しと物体が同時に撮影されている場合に同様の処理を行うと表1-(b-2)に示されるように、目盛りと物体の周波数成分が混在し、目盛りの周波数を求める事が困難となる。そこで、画像をいくつかの小領域(ブロック)に分割しブロックごとに上記の処理を行う事で、目盛りと物体の周波数の混在を回避し、最終的に目盛りのみの周波数を求め目盛り間隔を決定するアルゴリズムを構築した。

3. 処理の流れ

図2に目盛り間隔検出処理の流れを示す。まず、局所的な周波数を測定するために画像をブロック状に分割し(図2-(ii))、それらを二次元離散的フーリエ変換を用いて周波数空間に変換する。次に、ブロック内で特定の周波数でピークを持つ目盛り候補ブロックを検出する(図2-(iii))。そして、目盛り部分が一定の周波数を持つという特徴を利用して、目盛り候補となっているブロック(目盛り候補ブロック)から目盛りの部分にあたるブロック(目盛り部分ブロック)を選別する(図2-(iv))。目盛り部分ブロックを連結することで物差しが目盛り全体に相当する領域(目盛り領域)を検出する(図2-(v))。さらに、その画像を再度フーリエ変換することで目盛り間隔を検出することができる(図2-(vi))。最後に、検出された目盛り間隔と目盛り部分ブロックを用いて検出結果を確認する(図2-(vii))。そのとき、もし、検出結果が誤っていると判定されたら目盛り部分ブロック検出の処理に戻り次の候補を検索する。

表2 目盛りの有無による周波数の違い
Table 2 Difference between block images

	画像データ	周波数空間	疑似パワースペクトル密度
目盛りを含まないブロック	 (a-1)	 (a-2)	 (a-3)
目盛りを含むブロック	 (b-1)	 (b-2)	 (b-3)

4. 目盛り部分ブロック検出

4.1 画像の分割

物差しと物体が同時に撮影された画像をフーリエ変換すると、目盛りに該当する周波数が物体の周波数と混じり合ってしまう、判別が困難になる。そこで、画像サイズ $M \times N$ の入力画像を画像サイズ $L \times L$ のブロックで分割すると次式に示される $P \times Q$ 個のブロックになる。

$$P = \frac{M}{L} \quad (2)$$

$$Q = \frac{N}{L} \quad (3)$$

4.2 目盛り候補ブロックの検出

物差しの目盛り部分は周期的な線となっているので、フーリエ変換により特定の周波数を持つことになる。この周波数の有無から、目盛りを含む可能性が高いブロックを検出する。

4.2.1 パワースペクトル密度

周波数の強度を表したものをパワースペクトル (Power Spectrum) と呼び、次式で定義される。

$$P(u, v) = |X(u, v)|^2 \quad (4)$$

パワースペクトル密度 (Power Spectrum Density: PSD) は、同一の周波数をとる積分経路上のパワースペクトル $P(u, v)$ を積分し、積分経路の距離で割ったものである。画像のパワースペクトル密度を求めるときの積分経路は図3の

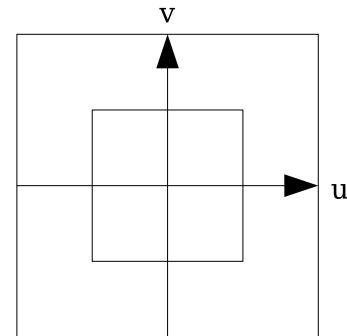


図3 パワースペクトル密度の積分経路

Fig. 3 Integration path of power spectrum density

ように正形状になる。画像のパワースペクトル密度は次式から求まる。

$$PSD(w) = \frac{1}{\|Path_{PSD}(w)\|} \sum_{(u,v)}^{Path_{PSD}(w)} P(u, v) \quad (5)$$

$$Path_{PSD}(w) := \{(u, v) | \text{周波数 } w \text{ の積分経路}\}$$

また、一般に画像のパワースペクトル密度は軸を対数でとると、右下がりの直線で近似できることが知られている [5].

4.2.2 目盛り候補ブロック検出

ブロックを画像データ (表2- (a-1), (b-1)) から二次元離散的フーリエ変換を用いて周波数空間に変換する (表2- (a-2), (b-2)). ブロックの中に物差しの目盛りの様な

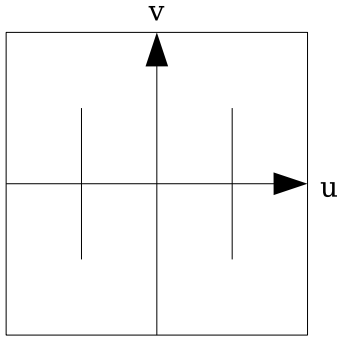


図4 疑似パワースペクトル密度の積分経路

Fig. 4 Integration path of pseudo power spectrum density

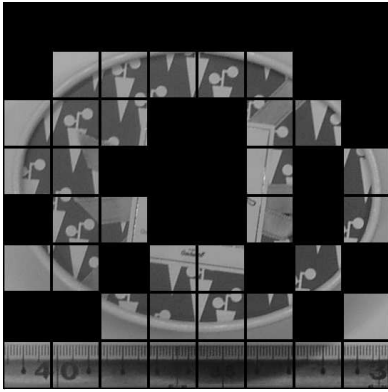


図5 目盛り候補ブロック

Fig. 5 Candidate scale blocks

縞模様が含まれる場合、一定の周波数が強調される特徴を持つ。従って、この特徴が表れたとき、ピークが存在するという。

物差しと画像の x 軸が平行という仮定より、目盛りは周波数空間で縦筋になって表れる。しかし、パワースペクトル密度の積分経路には、縦筋に対応する周波数のみならず、横方向の周波数成分も含まれてしまう。そこで、図4のように垂直周波数成分のみを積分するような積分経路に変更して求めたパワースペクトル密度を疑似パワースペクトル密度 $psd(w)$ と呼ぶ (式6)。

$$psd(w) = \frac{1}{\|Path_{psd}(u)\|} \sum_{(u,v)}^{Path_{psd}(w)} P(u,v) \quad (6)$$

$Path_{psd}(w) := \{(u,v) \mid \text{周波数 } w \text{ の変更した積分経路}\}$

軸を対数でとると、疑似パワースペクトル密度は直線 $lsm(u)$ で近似できるので、その近似直線 $lsm(u)$ を最小二乗法で求める。ただし、低周波成分はノイズとなるので周波数 λ 未満は無視する。

ピーク座標 u_{peak} の疑似パワースペクトル密度 $P(u_{peak}, 0)$ が非常に強くなり、その値は近似直線 $lsm(u_{peak})$ から大きく外れている (表2-(b-3))。そこで、疑似パワースペクトル密度 $psd(u)$ と近似直線 $lsm(u)$ の差分を求め、その差分値が閾値 ν 以上かつ最大となる周波数 $(u_{peak}, 0)$ をピーク座標とする (式7)。また、このときピークが検出され

	28	28	31	31	30		
31	31	30			31	31	
31	28				31		31
	31	31			29		30
26	30		29	31		31	
		26	29	30	29		19
15	15	15	15	15	15	14	15

図6 目盛り候補ブロックのピーク座標

Fig. 6 Peak coordinate of candidate scale blocks

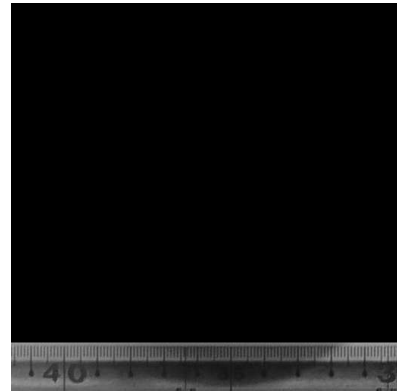


図7 目盛り部分ブロック

Fig. 7 Blocks of scale

たブロックを目盛り候補ブロックとする。以上のような目盛り候補ブロック検出の処理を全てのブロックに施す (図5)。

$$u_{peak} = \begin{cases} u_{max} & \text{if } (\log |X(u_{max}, 0)| - lsm(u_{max}) > \nu) \\ \text{ピークなし} & \text{otherwise} \end{cases} \quad (7)$$

$$u_{max} := \{u \mid \max_{u \in [\lambda, L]} \log |X(u, 0)| - lsm(u)\}$$

5. 物差しの目盛り間隔検出

5.1 目盛り部分ブロックの検出

前章で抽出された目盛り候補ブロックのピーク座標 (図6) を元を目盛り部分ブロックを抽出する。

物差しと画像の x 軸が平行という仮定より、目盛りを含む部分のブロックも x 軸に平行に配置されている。さらに、目盛り部分となるブロックは、フーリエ変換によって、どれも同じ周波数にピークができるはずである。しかし、量子化誤差のため、ピーク座標に誤差が生じる。そこで、任意の周波数 $(u_{peak}, 0) \forall u_{peak} \in [\lambda, \frac{L}{2})$ をとり、目盛り候補ブロックからピーク座標が $(u_{peak}, 0), (u_{peak} + 1, 0)$ であるものを抽出し、その中から x 軸方向に並んでいるブロックを検出し、その数が最大かつ ξ 以上のものを目盛り部分ブロックとする (図7)。

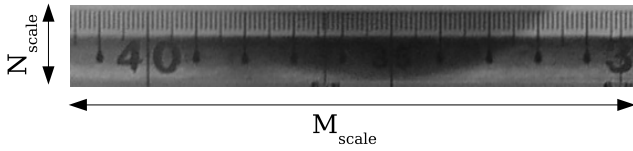


図8 目盛り部分ブロックの切り出し
Fig. 8 Clipping blocks of scale

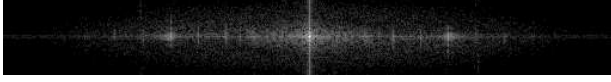


図9 図8の周波数空間
Fig. 9 Frequency space of Fig.8

5.2 目盛り領域の切り出し

目盛り部分ブロックは、画像の x 軸と平行に並んでいるが、必ずしも連続とはならない。そこで、目盛り部分ブロックの集合から目盛り部分ブロックを全て含む大きさが最小の矩形を切り出し、それを目盛り領域とする。そのとき、目盛り領域の画像サイズは $M_{scale} \times N_{scale}$ となる。

5.3 物差しの目盛り間隔検出

目盛り領域を図9のようにフーリエ変換し、ピークを探索する。目盛り領域のピーク座標は、目盛り部分ブロックのピーク座標を平均した座標 $(f_{u_{ave}}, 0)$ の近傍に表れる。そこで、目盛り部分ブロックと判断されたブロックのピーク座標の平均 $(u_{ave}, 0)$ を求め (式8)、その周波数 $(f_{u_{ave}}, 0)$ の δ -近傍で周波数成分が最大となる座標 $(u_{scale}, 0)$ を検出する (式9)。

$$u_{ave} = \frac{1}{\|S\|} \sum_{(u,0) \in S} u \quad (8)$$

$$S = \{(u,0) \mid \text{各目盛り部分ブロックのピーク座標}\}$$

$$u_{scale} = \{w \mid \max_{f \in (u_{ave} - \delta, u_{ave} + \delta)} pwd(w)\} \quad (9)$$

ここで、 δ の値は

$$\delta = \frac{M_{scale}}{L} \quad (10)$$

で定められる。

最後に、周波数 $f_{u_{scale}}$ から波長を求めると、それが縞模様の間隔すなわち物差しの目盛り間隔 d である。

$$\begin{aligned} d &= \frac{1}{f_{u_{scale}}} \\ &= \frac{M_{scale}}{u_{scale}} \end{aligned} \quad (11)$$

ただし、周波数 u_{scale} がとりうる値の範囲は、

$$\lambda \leq u_{scale} < \frac{M_{scale}}{2} \quad (12)$$

となる。従って、目盛り間隔 d の検出可能な値の範囲は、

$$2 < d \leq \frac{M_{scale}}{\lambda} \quad (13)$$

である。

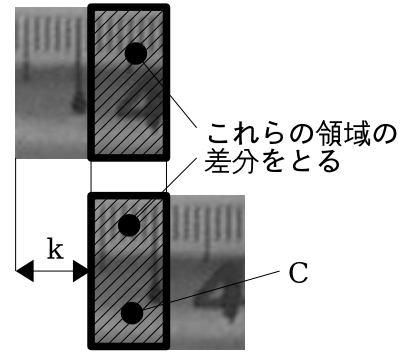


図10 C と k の関係
Fig. 10 Relation between C and k

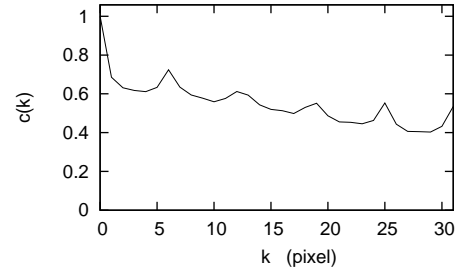


図11 目盛りを含むブロックの $c(k)$ (表2-(a-1))
Fig. 11 $c(k)$ of block contained scale (table2-(a-1))

5.4 目盛り間隔の確認

目盛りを含む画像をフーリエ変換すると、高調波成分と呼ばれるピークと同じ特徴を持った周波数成分がピーク座標の s 倍または $1/s$ (s は自然数) の位置に表れる。この高調波を誤ってピークと認識してしまう場合がある。すると、目盛り間隔は実際の $1/s$ または s 倍で検出されてしまう (式11)。そのため、検出された目盛り間隔が正しいかどうかを判定する必要がある。

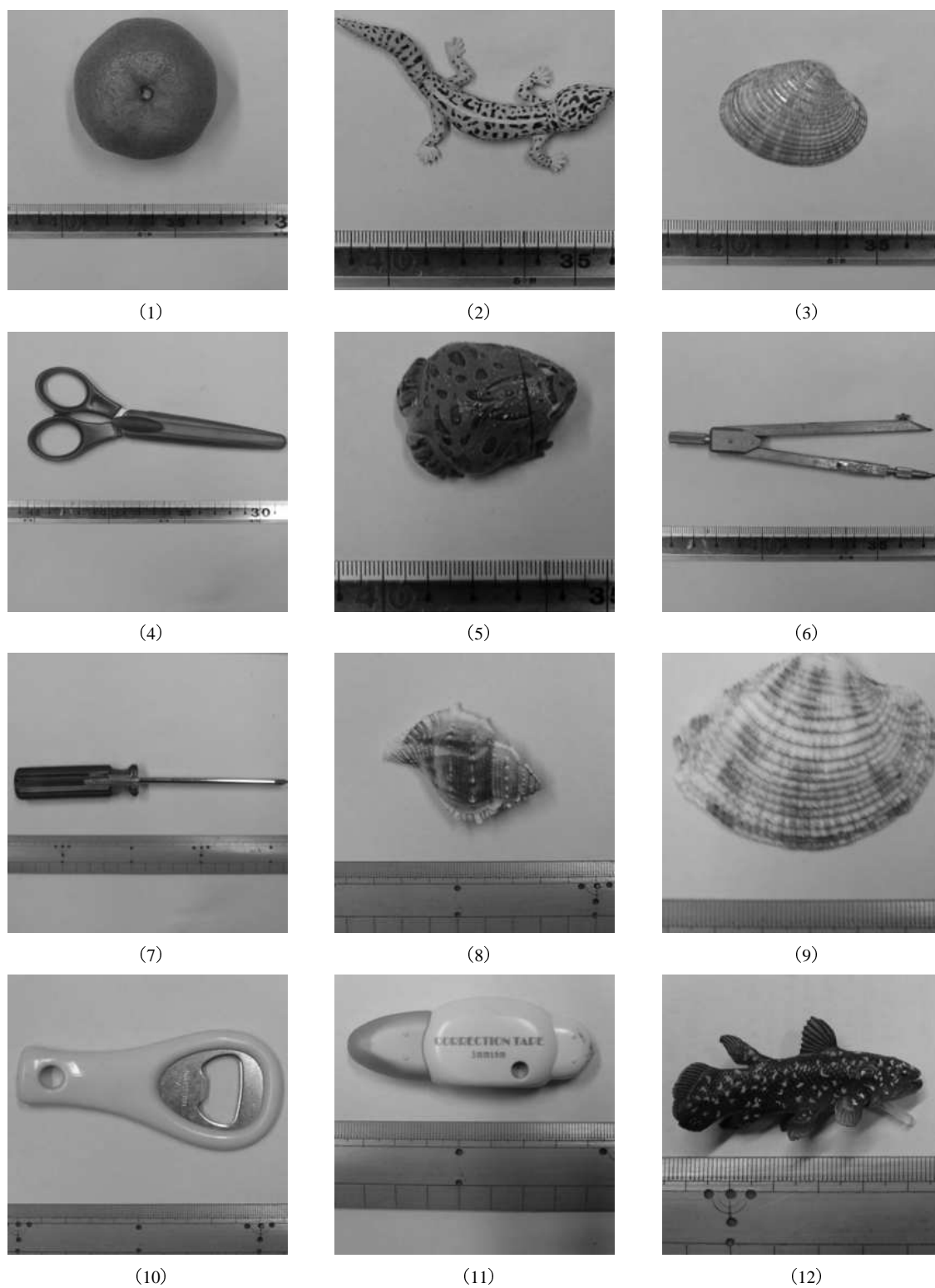
まず、目盛り (目盛り間隔が d' pixel) が含まれている画像とその画像を x 軸方向に k ずらしたものの各画素値の差分値をとり、その差分値が ρ 未満の画素数をカウントし、ずらした画像とずらす前の画像が重なっている部分 C (図10) の面積で割った値を $c(k)$ とする式 (14)。すると、 $c(k)$ は $k \equiv d' \times z$ (z は自然数) で極大値をとる (図11)。

$$c(k) = \frac{1}{\|C\|} \sum_{(m,n) \in C} \begin{cases} 1 & \text{if } |x(m,n) - x(m+k,n)| < \rho \\ 0 & \text{otherwise} \end{cases} \quad (14)$$

$C := \{(m,n) \mid \text{ずらした画像と重なっている部分}\}$

そこで、検出結果 d が正しいか判定するには、画像を徐々にずらして $c(k)$ を求め、 $c(k)$ が極大値をとったとき、 $k \equiv d \times z$ (z は自然数) を満たしているかを調べ、満たしていなければ、目盛り部分ブロックでないと判定する。これを z の値が σ になるまで繰り返す。この処理を全ての目盛り候補ブロックに施し、もし、目盛り部分ブロック

図 12 サンプル画像
Fig. 12 Sample images



として残ったブロック数が ξ 以上ならば検出結果 d が正しいと判定され、そうでない場合は、目盛り部分ブロックの検出の処理に戻り次の候補を探す。

6. 評価実験

提案した手法を評価する実験として、物差しの目盛り

間隔の精度を求めた。実験には、曲尺と竹尺を様々な物体と共に撮影した画像12枚(画像サイズが 512×512 のグレースケール画像)をサンプルとして使用した(図12)。なお、画像形式はPGM (Portable GrayMap file format)形式である。曲尺、竹尺ともに目盛りは1mm間隔であ

表 3 誤 差

Table 3 error

画像 番号	実測値	検出結果	誤差	備考
1	4.15	4.13	0.02	物体の周波数を誤認
2	6.84	-	-	高調波検出
3	5.46	5.33	0.13	
4	2.75	2.75	0.00	
5	4.11	-	-	高調波検出
6	4.20	4.20	0.00	
7	2.54	2.55	0.01	
8	5.06	5.07	0.01	
9	8.66	8.83	0.17	
10	4.44	4.41	0.03	
11	5.84	5.82	0.02	
12	8.10	8.13	0.03	
		平均	0.04	

単位:pixel/mm

る。従って、検出される目盛り間隔の値は1mm当たりのpixel数となる。目盛り間隔検出処理によって得られた値と原画像から目視で求めた目盛り間隔の値との差分を求めることで検出精度を求める。処理に用いる閾値は、 $L = 64, \lambda = 7, \nu = 1.0, \xi = 4, \rho = 5, \sigma = 2$ とした。その結果を表3に示す。検出結果の誤差は0.04pixel/mmであった。図12(1)の画像は物体の周波数を目盛り部分と認識してしまったが、目盛り間隔が確認され、誤った結果であると判定されたが、再度、目盛り部分ブロック検出から次の候補を見付けることによって正しい検出結果を得ることができた。しかし、図12(2)と(5)に至っては、誤った結果だと判断はされたが、次の候補を見付けることができず、検出結果を出すことができなかった。

7. おわりに

本論文では、物差しが撮影された画像からフーリエ変換を用いて物差しの目盛り間隔の検出方法について述べた。目盛り検出処理によって得られた結果によると、例えば、大きさ100mmの物体を画像の幅が1024pixelで撮影した場合、その測定誤差はわずか0.4mm程度となる。従って、十分実用に耐えうる結果となった。

実際に対象物を撮影する際、物差しが画像の x 軸に対して斜めなる事は多々あり、その様な場合に物差しと画像の x 軸が平行であるという前提でアルゴリズムを構築してきたので正確な値を求めることができない。そこで、その様な場合は検出された目盛り部分ブロックの配置から x 軸に対する物差しの角度を求め、再度本手法を適応することで正確な目盛り間隔を検出することが可能になる。

文 献

- [1] 新世紀重点研究創成プラン,
<http://kyousei.aesto.or.jp/doc/plan.html>
- [2] 人・自然・地球共生プロジェクト,

<http://kyousei.aesto.or.jp/index.html>

- [3] 鈴木聡他, 「インドシナ半島における水環境の化学汚染実態の解明と汚染除去技術の開発」平成15年度研究成果報告書, 文部科学省研究開発局, pp.1-71, 2004
- [4] 国枝孝之, 脇田由喜, 高橋望, MPEG-7と映像検索, CQ出版社, 東京, 2004
- [5] 武者利光, ゆらぎの世界, 講談社, 東京, 1980
- [6] 大津展之, 栗田多喜夫, 関田巖, パターン認識, 朝倉書店, 東京, 1996
- [7] 八木伸行, 井上誠喜, 林正樹, 奥井誠人, 合志清一, C言語で学ぶ実践デジタル映像処理, オーム社, 東京, 1995