

HSPによる絵画の周波数解析

長 潔容江¹⁾・原口 雅浩²⁾

要 約

近年、絵画の物理的特性を統計的解析により抽出するさまざまな研究が行われている。本稿は、その中から絵画の輝度の「ゆらぎ」に着目し、周波数解析を行うためのHSPを用いたプログラムについて解説したものである。絵画の輝度データを周波数解析するにあたり、画像の輝度データを水平方向に1行ずつ、あるいは垂直方向に1列ずつ読み取って、データを系列化して行う方法、左から右へ読み取って行きその次の行は逆に右から左に折り返して読み取る、あるいは上から下に読み取って行きその次の列は下から上に読み取ってデータを系列化して行う、4つの方法で行った。

キーワード：周波数解析，絵画，HSP.

はじめに

人間に共通する美の普遍的法則の1つに「秩序性」がある(Ramachandran, 2011)。長・原口(2013)は、絵画の秩序性の要素は複雑性と規則性の2つの主成分から構成されており、秩序性と評価の関係について逆U字の関係がみられること、つまり、適度な秩序性をもつ作品は評価が高いことを示している。ただし、これらの印象が具体的に絵画のどのような物理特性から形成されているのかはよく分かっていない。

秩序性の下位要素の1つである規則性の指標として、「ゆらぎ」がある(齋藤・森, 2014)。ゆらぎとは、ある平均に従いながらも部分的に不規則な空間的变化の起きる状況を指す(村田, 2012)。

フランスの数学者フーリエ(Fourier)によると、「任意の周期関数は三角関数の和として表せる」(安居院・中嶋, 1981)。図1のような複雑な波のパターンも正弦波に分解することができる。このように、ある波形を

個々の周波数成分一つひとつに分解することをフーリエ変換と言う。離散フーリエ変換(DFT: Discrete Fourier Transform)とは、有限であるN個のデータを、N個の周波数のsin波とcos波の信号の大きさ(振幅)に変換することである。高速フーリエ変換(FFT: Fast Fourier Transform)とは、この離散フーリエ変換をコンピュータで高速に処理するためのアルゴリズムの名前である。

図2のように、横軸に空間周波数(f)の対数、縦軸にパワー・スペクトル(P)の対数をとる。ゆらぎ指数とは、直線の傾きのことである。自然界に存在するゆらぎは、大きく白色ゆらぎ、 $1/f$ ゆらぎ、 $1/f^2$ ゆらぎの3つに分類される。なかでも傾きが -1 となる $1/f$ ゆらぎは、木目の模様、ロウソクの炎のゆれなどの自然界でも数多くみられ、人が最も快さを感じると言われている(武者, 1992)。 $1/f$ ゆらぎを基準として、傾きが小さく白色ゆらぎに近づくにつれランダムさが増加し、反対に傾きが大きく、 $1/f^2$ に近づくにつれ単調さが増加する(川崎, 2006)。

1) 九州大学大学院人間環境学府・日本学術振興会特別研究員

2) 久留米大学文学部心理学科

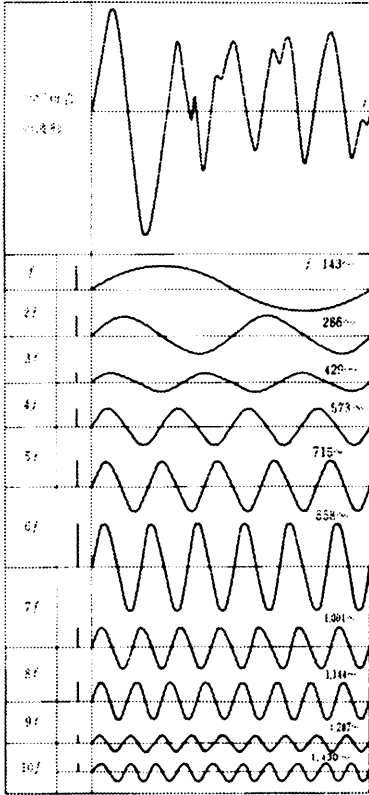


図1 フーリエスペクトル (安居院・中嶋, 1981)

長・原口・三浦 (2015) は、絵画作品にどのようなゆらぎの特徴が見られるのかの分析を試みている。絵画のゆらぎを調べる場合は、まず画像をコンピュータに取り込み、水平方向に絵画の輝度のデータを読み取る。得られた絵画の輝度を、さまざまな空間周波数をもった成分に分解すると、空間周波数に関するパワースペクトルが得られる。水平方向に一行ずつ解析し、それを平均して傾き求めると、絵画のゆらぎを算出することができる。

Microsoft EXCELを用いてもFFTを行うことはできる。しかしながら、たとえば、256画素×256画素の画像データの場合、FFTを256回行うことになる。さらに、EXCELで出力されるのは、実数部+虚数部形式の複素数なので、振幅（正の絶対値）を算出し、その後、256の振幅の周波数毎の平均を求め、空間周波数の対数と振幅の対数の回帰直線をもとめて、ゆらぎ値がやっと求まることになる。これらの作業を何枚もの絵画データで行うことになるので、莫大な時間と労力を要する。

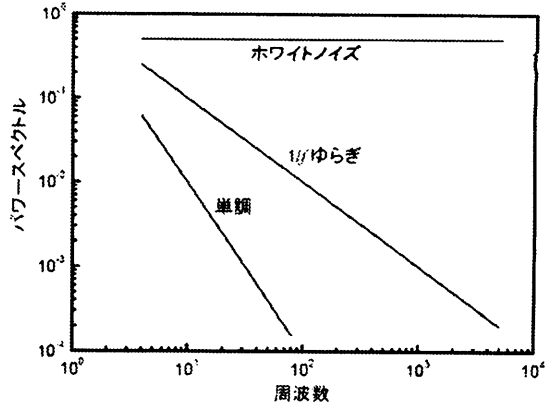


図2 周波数とパワースペクトルの関係 (村田, 2012)

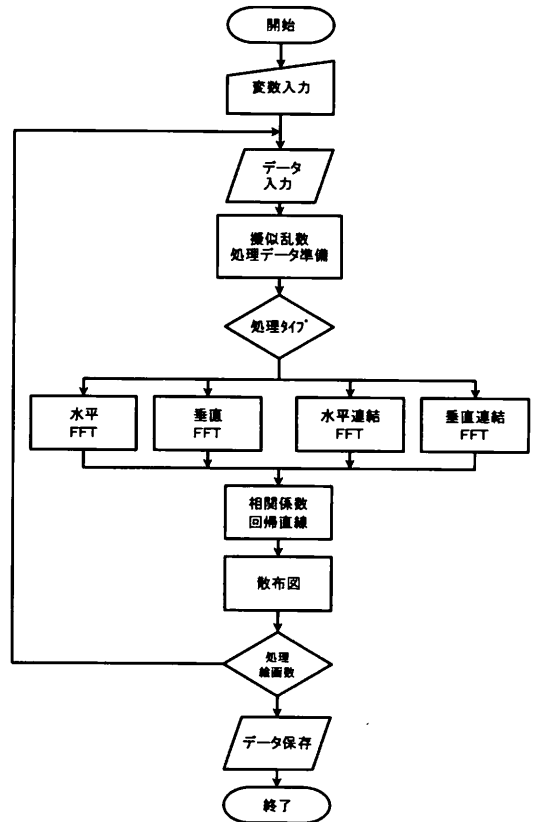


図3 フローチャート

そこで本稿では、これを実現するためにHSP (Version 3.4)を用いて開発したプログラムについて解説する。図3にフローチャートを示す。

HSP (Hot Soup Processor) とは、Windows用のGUIプログラムを手軽に作成することができる1995年から、おにたま氏により開発されているプログラミングツール、およびインタプリタ言語である。同梱の「スクリプトエディタ」を使ってプログラムのソースファイルを作成し、コンパイルして中間データに変換する。変換した中間データは「Hot Soup Processor」を介して実行できるほか、単体で動作するEXE形式の実行ファイルに変換することができる (ONION software, 1997)。

なお、著者のPC (DELL Inspiron Core(TM) i5-333 2.70 GHz; OS Windows10) で、256×256の絵画データ4枚を処理するのに要した時間はおよそ2分であった。

1. 前処理

音やロウソクの炎のゆらぎが時間的変化について解析されるのに対して、絵画のゆらぎは色の濃淡の空間的変化について解析される。そこで、基画像を画像処理ソフトに取り込んで、グレー・スケールに変換する。今回は、PopImaging Ver5.00 (Dbkids) に取り込み、256階調のグレー・スケールに処理した各絵画の画像を用いて、周波数解析を行った (図4)。その際、横方向の画素数を256に固定した。縦方向の画素数は絵画の形状に応じて異なる。



		x							
		0	1	2	3	4	5	6	7
y	0	4	2	1	5	1	1	5	1
	1	0	1	1	1	3	1	1	1
	2	16	5	7	2	0	1	0	1
	3	13	2	4	5	0	2	1	0
	4	27	22	5	1	2	0	1	4
	5	15	9	1	3	3	0	6	3
	6	21	8	2	3	0	1	8	4
7	10	3	1	0	1	2	1	4	

図4 基画像 (John Everett Millais 「The Bridesmaid (1851)」) とグレースケール値

2. 拡張プラグイン

```
#include "hspda.as" ..... (1)
```

(1) HSPでは、拡張プラグイン及びモジュールという形で機能を追加していくことが可能であり、これにより、HSP本体だけでは実現できない処理が可能となる (おにたま・悠黒・うすあじ, 2011)。

hspda.dllは、各種データアクセスのためのプラグインである。拡張プラグインのファイルhspda.dllは、head3.exeおよび、hsp3.exeのあるディレクトリと同じ場所に置く。スクリプトを作成する場合には、hspda.asをスクリプトと同じディレクトリに置き、スクリプトの先頭に「#include "hspda.as"」と記載する。

3. 変数の入力

```
// 変数入力
pos 0,0
mes "絵画の数":pos 100,0:input picn,60,20
*inp1
wait 1
stick g1,0:if g1!32 :goto *inp1 ..... (1)
pos 0,25
mes "絵画の名前":pos 100,25:input pn,60*picn,20,64
*inp2
wait 1
stick g1,0:if g1!32 :goto *inp2
pos 0,50
mes "処理 (1:HA, 2:VA, 3:HR, 4:VR) ":
pos 250,50:input q,60,20
*inp3
wait 1
stick g1,0:if g1!32 :goto *inp3
split pn, ",", pname ..... (2)
```

- (1) stick p1, p2, p3
p1 : 読み込むための変数
p2 : 非トリガータイプキー指定
p3 : ウィンドウアクティブチェックON/OFF

Enterキー (32) が押されるまで、待機する。

- (2) split p1, "string", p2
指定した文字列で分割された要素を変数代入する。ここでは、"string"に","を指定しているので、絵画の名前を","区切りで入力する。

図5に入力画面を示す。

絵画の数

絵画の名前

処理(1:HA, 2:VA, 3:HR, 4:VR)

図5 入力画面

	1	2	3	4	5	6	7	8
1	0	1	2	3	4	5	6	7
2	0	1	2	3	4	5	6	7
3	0	1	2	3	4	5	6	7
4	0	1	2	3	4	5	6	7
5	0	1	2	3	4	5	6	7
6	0	1	2	3	4	5	6	7
7	0	1	2	3	4	5	6	7
8	0	1	2	3	4	5	6	7

処理 1

	1	2	3	4	5	6	7	8
1	0	0	0	0	0	0	0	0
2	1	1	1	1	1	1	1	1
3	2	2	2	2	2	2	2	2
4	3	3	3	3	3	3	3	3
5	4	4	4	4	4	4	4	4
6	5	5	5	5	5	5	5	5
7	6	6	6	6	6	6	6	6
8	7	7	7	7	7	7	7	7

処理 2

4. EXCELデータの入力

Microsoft Excelのデータに含まれる項目をHSPで取得し、メモリに格納する。本サブルーチンは、おにたま他(2011)に収録されているMicrosoft Excelの制御プログラム(getxls.hsp)を使用した。

5. 画像データの準備

絵画の輝度データをFFTするにあたり、4つの処理方法を準備した(図6)。処理1と2は、武者(1981)に従い、画像の輝度データを1行ずつ(1)、あるいは1列ずつ(2)、FFTを行った。処理3と4では、単純に左から右へ読み取って行くと、行替えの部分で輝度の連続性が損なわれるため、奥谷・高瀬(2001)に従い、絵画の画素ごとの輝度のデータを折り返して読み取っていった(3)。また、垂直方向に読み取っていく際にも、同様の処理を行った(4)。

	1	2	3	4	5	6	7	8
1	0	1	2	3	4	5	6	7
2	15	14	13	12	11	10	9	8
3	16	17	18	19	20	21	22	23
4	31	30	29	28	27	26	25	24
5	32	33	34	35	36	37	38	39
6	47	46	45	44	43	42	41	40
7	48	49	50	51	52	53	54	55
8	63	62	61	60	59	58	57	56

処理 3

	1	2	3	4	5	6	7	8
1	0	15	16	31	32	47	48	63
2	1	14	17	30	33	46	49	62
3	2	13	18	29	34	45	50	61
4	3	12	19	28	35	44	51	60
5	4	11	20	27	36	43	52	59
6	5	10	21	26	37	42	53	58
7	6	9	22	25	38	41	54	57
8	7	8	23	24	39	40	55	56

処理 4

図6 データの配列

5-1. データ配列

処理1: 水平(H)

```
repeat sy:y=cnt
repeat sx:x=cnt
  fftdata(x,0)=fdata(x,y) ..... (1)
  fftdata(x,1)=double(0)
loop
loop
```

処理2: 垂直(V)

```
repeat sx:x=cnt
repeat sy:y=cnt
  fftdata(y,0)=fdata(x,y) ..... (2)
  fftdata(y,1)=double(0)
loop
loop
```

処理3: 水平連結(HR)

```
repeat sy:y=cnt
repeat sx:x=cnt
  if (y%2)=0 [x1=x+sx*y] else [x1=-x-1+sx*(y+1)] ... (3)
  fftdata(x1,0)=fdata(x,y)
  fftdata(x1,1)=double(0)
loop
loop
```

処理4: 垂直連結(VR)

```
repeat sx:x=cnt
repeat sy:y=cnt
  if (x%2)=0 [x1=y+sy*x] else [x1=-y-1+sy*(x+1)] ..... (4)
  fftdata(x1,0)=fdata(x,y)
  fftdata(x1,1)=double(0)
loop
loop
```

5-2 擬似乱数

```
//擬似乱数発生
#include "hspmath.as" ..... (1)
```

```
*random ..... (2)
sya=int(logf(sy)/logf(2))
syb=pow(2,sya)
sr=sy-syb
dim rdata ;sdim rdatal
randomize
dim res, sy
repeat sy
value = rnd(cnt + 1)
res.cnt =res.value
res.value = cnt
loop
repeat sr
rdatal = rdatal + "[" + res.cnt + "]"
loop
```

//ソート処理

```
repeat sr ? 1
dl = cnt
repeat sr - (dl + 1), dl + 1
if res(dl) > res.cnt |
work = res(dl)
res(dl) = res.cnt
res.cnt = work
|
loop
loop
return
y1=1
repeat sy:y=cnt
if y!kekka(y2):y1=y1+1:else:y2=y2+1
repeat sx:x=cnt
fdata(x,y1)=fdata(x,y) ..... (3)
loop
loop
sy=y1
return
```

(1) hspmath. asには高度な数学計算を行なうための定数やマクロが定義されている。

(2) FFTは、2の累乗のデータ数が必要となる。横の画素数は256 (2⁸)なので、処理2, 3, 4の場合、縦の画素数を2ⁿとしなければならない。縦の画素数は絵画の形状によって異なるので、縦の画素数を内輪で2ⁿと

するため、乱数を発生させてどの行を採用するかを決める。たとえば、136画素の場合は128 (2⁷)画素、270画素の場合は256 (2⁸)画素となる。なお、今回は乱数を発生させて採用しない行の方を決定した。その際、同じ乱数を発生しないように擬似乱数を発生させた。

(3) その後、絵画通りにデータをソーティングし、fdata(x, y)に格納した。なお、研究によっては、絵画を2ⁿの正方形にトリミングして用いているものもある(たとえば、川崎, 2006)。

6. FFT

ここでは、紙面の関係上、処理1: 水平方向の256画素のデータでFFTを縦の画素数分行い、平均を算出する分のみ説明する。

```
#include "fftex.as" ..... (1)
fourier fftdata, fftdata, sx, 0 ..... (2)
```

```
repeat sx:x=cnt
if abs(fftdata(x, 0))<0.000001:fftdata(x, 0)=0.0000
..... (3)
if abs(fftdata(x, 1))<0.000001:fftdata(x, 1)=0.000000
ffdata(x, y, 0)=fftdata(x, 0)
ffdata(x, y, 1)=fftdata(x, 1)
```

```
loop
loop
repeat sy:y=cnt
repeat sx:x=cnt
sffdata(x, y)=sqrt(ffdata(x, y, 0)*ffdata(x, y, 0)+ffdata
(x, y, 1)*ffdata(x, y, 1)) ..... (4)
```

```
loop
loop
sx2=sx/2
repeat sx:x=cnt
repeat sy:y=cnt
affdata(x)=affdata(x)+logf(sffdata(x, y)/sx2)*0.434
..... (5)
```

```
loop
loop
repeat sx:x=cnt
affdata(x)=affdata(x)/sy ..... (6)
loop
```

(1) 高速フーリエ変換には、高速フーリエ変換ライブラリ (Kerupani129, 2014) より、fftex.asを使用した。fftex.dllとarrcnv.dllをfftex.asと同じディレクトリーに置く。

(2) fourier p1, p2, p3, p4

- p1 : 変換前データを入れた配列変数
- p2 : 変換後データを入れる配列変数
- p3 : サンプル数 (2の累乗)
- p4 : 0=FFT / 1=IFFT (逆FFT)

(3) 2乗値の計算時にアンダーフローのエラーが発生しないように、0.000001より小さい値を0とおいている。

(4) フーリエ変換の結果は、実数部 (ffdata(x, y, 0))と虚数部 (ffdata(x, y, 1)) で表現されている。そこで、フーリエ変換の結果の絶対値を求め、振幅 (sffdata(x, y)) を算出する。

(5) 入力のとフーリエ変換した振幅を対応させるため、算出した振幅を、データ数の1/2 (sx2=sx/2) で割る。HSPの対数関数logfは自然対数を返すので、底の変換公式を用いて、常用対数に変換する。

(6) 処理1は行数分FFTを行うので、行数で割って、各周波数に対応する振幅の平均を求める。

7. データの保存

```
pps(k)=pname(k)+", "
notesel ff ..... (1)
repeat sx:x=cnt
  pps(k)=pps(k)+" "+affdata(x)+", "
loop
noteadd pps(k) ..... (2)
ss2=sx/2
notesave "pps.txt" ..... (3)
```

(1) notesel p1

p1で指定した変数をメモリノートパッド命令のバッファに設定する。

(2) noteadd p1, p2, p3

- p1 : 追加・変更する文字列または変数名
- p2 : 対象となるインデックスを指定する。p2パラ

メータを省略するか、-1を指定すると最終行が対象となる。

p3 : 省略するか0を指定すると追加モードとなり、対象となるインデックス以降が1つつつシフトする。

(3) notesave "filename"

メモリノートパッド命令のバッファの内容を、指定したファイルにテキストファイルとして保存する (図7)。

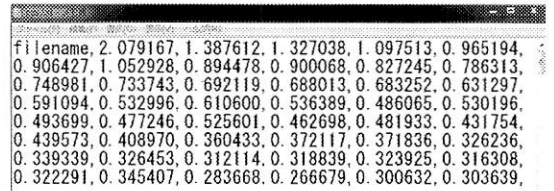


図7 保存されたデータ

8. 散布図・相関係数・回帰直線

横軸に空間周波数の対数、縦軸に振幅の対数を取り、散布図を作成する。次に、回帰直線をもとめ、ゆらぎ値 (直線の傾き) を求める (図8)。HSPで散布図・相関係数・回帰直線を求めているが、ここでは、保存されたファイル (pps.txt) をEXCELに読み込んで、作成したものを図示している。

これまでの一連の作業を指定した絵画の枚数分繰り返す。

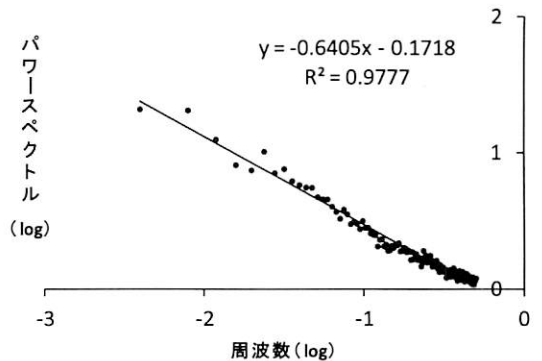


図8 パワースペクトルと回帰直線

まとめ

近年、統計的解析により絵画の物理的特性を抽出するさまざまな研究が行われている。本稿では、その中から、絵画の輝度の「ゆらぎ」に着目し、FFTを行うためのHSPを用いたプログラムについて解説した。本来、絵画は2次元であるため、2次元FFTを行っている研究もある(齋藤・森, 2014)。Taylor, Micolich & Jonas(1999)は、ボックスカウンティング法を用いて、一見データラメで法則性とは無縁のように感じられるジャクソン・ポロックの作品がフラクタル・パターンになっていたことを示している。また、福本・塚田・蔡・安村(2005)は、絵画の色彩情報に注目し、印象派絵画がZipfの法則に従う傾向にあることを示している。

このように、近年、絵画の物理的特性を統計的解析により抽出する研究が行われてきているが、物理的な指標のみで絵画の美的評価を予測するのは限界がある。さらに、フラクタルやゆらぎについては、これらの見えない物理的な特性を人間が処理できているのかなど、まだ解明されていないことが多い(長, 2016)。

引用文献

- 安居院 猛・中嶋 正之 (1981). FFTの使い方 (エレクトロニクス選書) 秋葉出版
- 長 潔容江 (2016). 第7章 美の原理 三浦 佳世 (編) 感性認知: アイステシスの心理学 (pp. 50-63) 北大路書房
- 長 潔容江・原口 雅浩 (2013). 絵画の秩序と評価に関する感性心理学的研究 (2) 日本認知心理学会第11回大会発表論文集, 132.
- 長 潔容江・原口 雅浩・三浦 佳世 (2015). 絵画のゆ

らぎと美的評価の関係 日本心理学会第79回大会発表論文集, 749

福本麻子・塚田浩二・蔡東生・安村通晃 (2005). 絵画の色彩情報の複雑性と規則性に関する統計的解析 画像電子学会誌, 34, 311-318

川崎 寧史 (2006). 景観画像・風景画像のゆらぎ特徴 図学研究, 40, 175-178.

Kerupani129(2014). kerupani129 Prajedt@ウィキ https://www.38.atwiki.jp/kerupani129/pages/23.html (2015.2.1)

武者 利光 (1992). ゆらぎの世界—自然界の1/fゆらぎの不思議 講談社

村田潤一 (2012). ゆらぎ理論の適用による風景画に描かれた景観の特性分析 九州大学大学院人間環境学府都市共生デザイン専攻 修士論文 (未刊)

おにたま・悠黒 喧史・うすあじ (2011). HSP3.3 プログラミング入門 秀和システム

ONION software (1997). HSPTV <http://hsp.tv/> (2017.1.22)

奥谷 巖・高瀬 達夫 (2001). 色彩を用いた各種フラクタル次元による景観評価に関する研究 土木情報システム論文集, 10, 221-228.

Ramachandran, V. S. (2011). The Tell-Tale Brain. Brockman, Inc., New York (ラマチャンドラン, V. S. 山下篤子 (訳) (2013). 脳の中の天使 角川書店)

齋藤益美・森俊夫 (2014). 周波数解析による景観, テクスチャパターンおよび絵画のゆらぎの評価 岐阜女子大学紀要, 43, 87-94

Taylor, R. P., Micolich, A. P. & Jonas, D. (1999). Fractal analysis of Pollock's drip paintings. *Nature*, 399, 422.

Frequency Analysis of Paintings using Hot Soup Processor

KIYOE CHIO (*Graduate school of Human-Environment Studies, Kyushu University* •
Research Fellow of Japan Society for the Promotion of Science)

MASAHIRO HARAGUCHI (*Department of Psychology, Faculty of Literature, Kurume University*)

Abstract

Recently, various studies have been conducted for extracting physical characteristics of paintings using statistical analysis. This study focused on “fluctuations” of luminance in paintings, and explicated a program for conducting frequency analysis using HSP. The following four methods were used in reading luminance data for frequency analysis of paintings (1) row by row in the horizontal direction, (2) column by column in the vertical direction, (3) from left to right along a row, and right to left along the next row, (4) from top to bottom along a column, and from bottom to the top along the next column. Subsequently, data were systematized and frequency analysis was conducted.

Key words : frequency analysis, paintings, HSP