

奈良文化財研究所公開の年輪データの解析

2025 年 8 月 13 日

目次

1. まえがき.....	3
2. 年輪データ.....	3
3. 年輪データの解析.....	12
3.1 インストール.....	12
3.2 年輪データファイルの編集.....	12
3.3 データの標準化.....	13
3.4 相関係数.....	15
3.5 移動平均年数について.....	15
3.6 2回標準化.....	16
3.7 データ間平均.....	17
3.8 標準化データの分布.....	18
3.8 年輪データの種類.....	18
4. プログラムの実行法.....	19
4.1 開発環境と動作環境.....	19
4.2 プログラムの実行法.....	19
4.3 計算.....	19
4.4 図形出力.....	20
4.5 数値出力.....	25
4.6 照合と標準化の関係.....	27
4.7 照合による開始年の決定.....	28
5. 暦年標準パターン A の解析.....	29
5.1 A-1～A-3.....	29
5.2 A-4～A-7.....	30
6. 暦年標準パターン D.....	34
7. 暦年標準パターン E.....	35
8. 暦年標準パターン F.....	36
9. 木曾ヒノキ暦年標準パターン.....	37
10. 埋木 15 点年輪パターン.....	38
11. 補足暦年標準パターン.....	39
12. 暦年標準パターンのまとめ.....	40
13. 年代不確定データの照合.....	43
13.1 法隆寺五重塔心柱.....	43
13.2 纏向勝山古墳板材.....	45
13.3 纏向石塚古墳板材.....	47
13.4 池上曽根遺跡柱根.....	49
14. まとめ.....	58
文献.....	58

1. まえがき

樹木の年輪はそれが育った環境を反映しています。同じ地域の同じ樹種の年輪には強い相関関係があると考えられます。この性質を利用して樹木の年輪を解析することによって、その樹木が伐採された年を推定したり、過去の気象環境を推定したりすることができます。前者の研究を年輪年代法と呼びます。年輪の研究は20世紀前半にアメリカで始まり、続いてヨーロッパで行われました。日本では先駆的な研究を経たのち1980年から奈良文化財研究所で研究が始められ、日本の環境でも有効であることが示されました[1]。そして2025年6月に研究のもととなった年輪データが公開されました[2]。本報告は公開された年輪データを解析する方法について述べたものです。さらに、公開されたいくつかの年代未確定の考古学試料の年代を調べます。プログラムにはPythonを用います。本プログラムはフリーソフトです。自由に使用、改変、再配布を行ってかまいません。

2. 年輪データ

公開された年輪データファイルは時代と場所によっていくつかに分類されています。個々のデータの年輪には偏りがあるので複数のデータを統計的に処理して作成したものを暦年標準パターン（standard chronology）と呼びます。これが年代を特定するときに使用されます。

表2-1～表2-7に各暦年標準パターンのデータファイルの一覧を示します。

表2-8に年代未確定の年輪データファイルを示します。

「ファイル名」は便宜上つけたものであり元データとは異なります。

年は西暦年を使用します。紀元前の年は負で表します。例えば紀元前1年は0年、紀元前100年は-99年となります。

「開始年」と「終了年」は年輪を開始した年と終了した年です。以下の関係があります。

$$\text{終了年} = \text{開始年} + \text{年輪数} - 1$$

表 2-1 暦年標準パターン A 用データファイル一覧

ファイル名	データの内容	年輪数	開始年	終了年
A.txt	暦年標準パターン A (ヒノキ)	976	1009	1984
A-1.txt	1954 年付知営林署伐採、名古屋営林支局保管	925	1009	1933
A-2.txt	1984 年付知営林署伐採	839	1146	1984
A-3.txt	1930 年山沢金五郎氏公開	802	1118	1919
A-4.txt	長野県上松産 17 点平均	297	1685	1981
A-4-01.txt～A-4-17.txt	上記の 17 点			
A-5.txt	長野県三浦産 13 点平均	321	1664	1984
A-5-01.txt～A-5-13.txt	上記の 13 点			
A-6.txt	岐阜県付知産 15 点平均	478	1507	1984
A-6-01.txt～A-6-15.txt	上記の 15 点			
A-7.txt	岐阜県小坂産 15 点平均	303	1682	1984
A-7-01.txt～A-7-15.txt	上記の 15 点			

表 2-2 暦年標準パターン D 用データファイル一覧

ファイル名	データの内容	年輪数	開始年	終了年
D.txt	暦年標準パターン D (ヒノキ)	811	512	1322
D-1.txt	広島県草戸千軒町遺跡出土品 12 点平均	572	751	1322
D-1-01.txt～D-1-12.txt	上記の 12 点			
D-2.txt	広島県草戸千軒町遺跡出土鼻線 4 点平均	323	924	1246
D-2-01.txt～D-2-04.txt	上記の 4 点			
D-3.txt	京都市鳥羽離宮跡出土品 6 点平均	611	512	1122
D-3-01.txt～D-3-06.txt	上記の 6 点			

表 2-3 暦年標準パターン E 用データファイル一覧

ファイル名	データの内容	年輪数	開始年	終了年
E.txt	暦年標準パターン E (ヒノキ)	875	-36	838
E-01.txt～E-22.txt	奈良県平城宮跡出土品 22 点			

表 2-4 暦年標準パターン F 用データファイル一覧

ファイル名	データの内容	年輪数	開始年	終了年
-------	--------	-----	-----	-----

F.txt	暦年標準パターン F（ヒノキ）	574	-316	257
F-01.txt～F-11.txt	弥生・古墳時代の遺跡出土品 7 か所 11 点			

表 2-5 木曽ヒノキ暦年標準パターン用データファイル一覧

ファイル名	データの内容	年輪数	開始年	終了年
KISO.txt	木曽ヒノキ暦年標準パターン（ヒノキ）	2710	-704	2005
K-1.txt	A-1.txt,A-2.txt と同一 2 点平均	976	1009	1984
K-1-01.txt～K-1-02.txt	上記の 2 点			
K-2.txt	長野県木曽産現生木 4 点平均	334	1672	2005
K-2-01.txt～K-3-04.txt	上記の 4 点			
K-3.txt	長野県飯田地区埋木 5 ヶ所 12 点平均	861	725	1585
K-3-01.txt～K-3-12.txt	上記の 12 点			
K-4.txt	長野県飯田市ヒナタ洞埋木 6 点平均	544	432	975
K-4-01.txt～K-4-06.txt	上記の 6 点			
K-5.txt	長野県飯田市遠山川埋木 9 点平均	795	-82	712
K-5-01.txt～K-5-09.txt	上記の 9 点			
K-6.txt	長野県飯田市大島埋木 4 点平均	698	-446	251
K-6-01.txt～K-6-04.txt	上記の 4 点			
K-7.txt	長野県飯田市畑沢埋木 6 点平均	1090	-704	385
K-7-01.txt～K-7-06.txt	上記の 6 点			

表 2-6 埋木 15 点年輪パターン用データファイル一覧

ファイル名	データの内容	年輪数	開始年	終了年
UMEKI15.txt	埋木 15 点年輪パターン	819	-911	-93
U-01.txt～U-15.txt	上記の 15 点			

表 2-7 補足暦年標準パターン用データファイル一覧

ファイル名	データの内容	年輪数	開始年	終了年
HOSOKU.txt	補足暦年標準パターン	704	-446	257
H-1.txt	弥生時代 11 点平均	574	-316	257
H-1-01.txt～H-1-11.txt	上記の 11 点			
H-2.txt	長野県飯田市大島埋木 4 点平均(K-6.txt と同じ)	698	-446	251
H-2-01.txt～H-2-04.txt	上記の 4 点			

表 2-8 年代未確定の年輪データファイル一覧

ファイル名	資料名称	年輪数	開始年	終了年	備考
horyuji.txt	法隆寺五重塔心柱 A+A1	352	241	592	法隆寺五重塔心柱
katuyama.txt	勝山池第4次 No132	110	89	198	纏向勝山古墳板材
ishizuka.txt	MAKIMUKU-CHA1	246	-70	175	纏向石塚古墳板材
ikegami-1.txt	IKEGAMI-CHA4A	184	-585	-402	池上曽根遺跡柱根 No.4
ikegami-2.txt	IKEGAMI-12+12A6	248	-298	-51	池上曽根遺跡柱根 No.12
ikegami-3.txt	IKEGAMI-CHA16A	358	-1138	-781	池上曽根遺跡柱根 No.16
ikegami-4.txt	IKEGAMI-CHA17A1+A2	253	-472	-220	池上曽根遺跡柱根 No.17
ikegami-5.txt	IKEGAMI-CHA2A+B	252	-781	-530	池上曽根遺跡柱根 No.20

図 2-1 に各暦年標準パターンの開始年と終了年を示します。

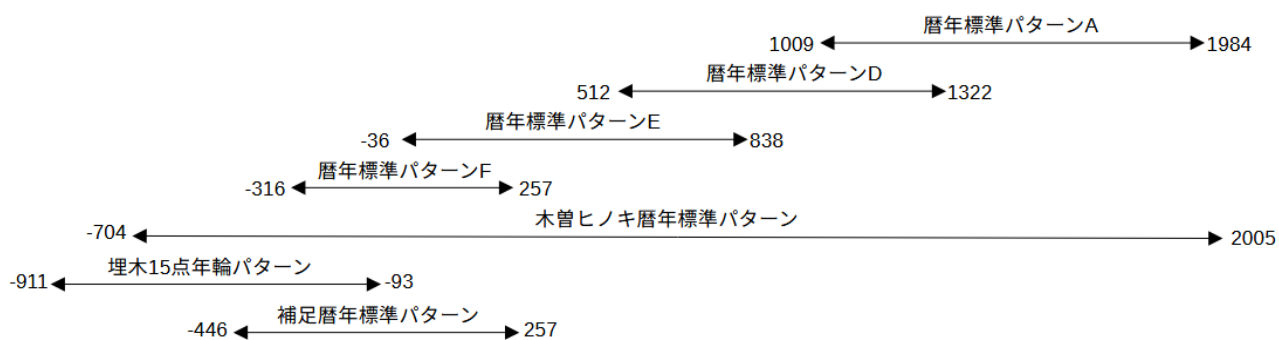


図 2-1 暦年標準パターンの開始年と終了年

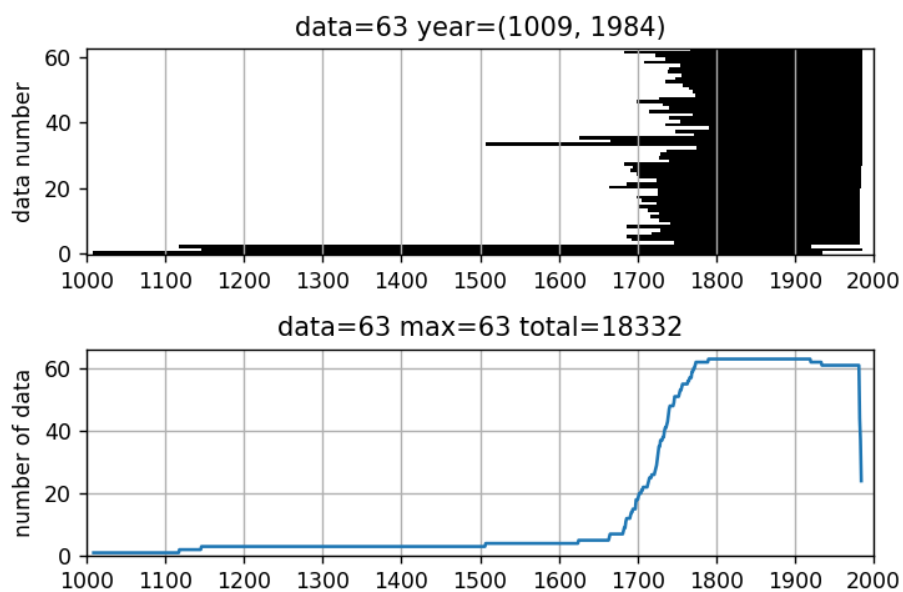
その他、公開データから新規に表 2-9 のデータファイルを作成しました。

表 2-9 新規に作成したデータファイル一覧

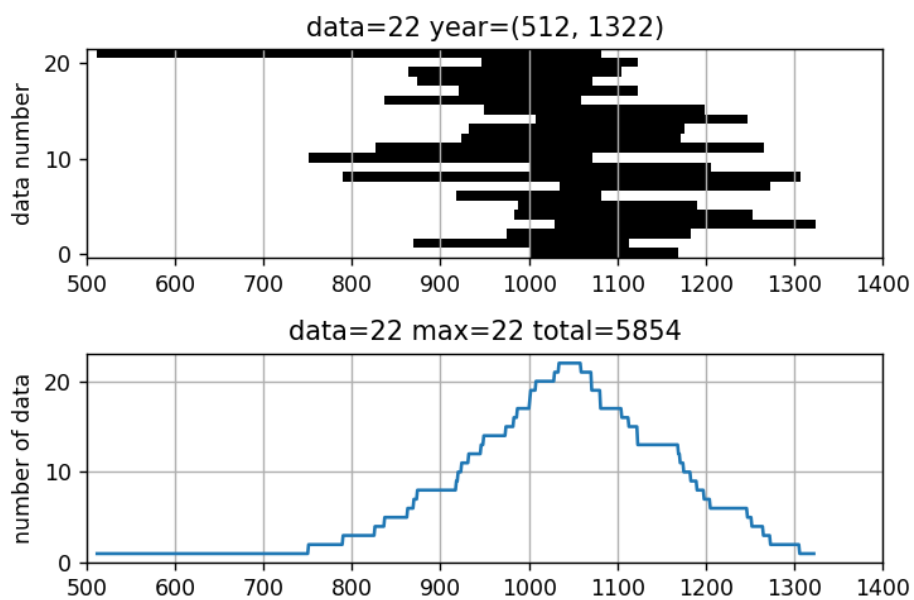
ファイル名	データの内容
A_raw_average.txt	暦年標準パターン A の単純平均
A_std_average.txt	暦年標準パターン A の標準化後平均
D_raw_average.txt	暦年標準パターン D の単純平均
D_std_average.txt	暦年標準パターン D の標準化後平均
E_raw_average.txt	暦年標準パターン E の単純平均
E_std_average.txt	暦年標準パターン E の標準化後平均
F_raw_average.txt	暦年標準パターン F の単純平均
F_std_average.txt	暦年標準パターン F の標準化後平均
KISO_raw_average.txt	木曽ヒノキ暦年標準パターンの単純平均
KISO_std_average.txt	木曽ヒノキ暦年標準パターンの標準化後平均
UMEKI15_raw_average.txt	埋木 15 点年輪パターンの単純平均
UMEKI15_std_average.txt	埋木 15 点年輪パターンの標準化後平均
HOSOKU_raw_average.txt	補足暦年標準パターンの単純平均
HOSOKU_std_average.txt	補足暦年標準パターンの標準化後平均
ALL_std_average.txt	全データパターン（全データの標準化後平均、6 個の重複データは 1 回のみカウント）

図 2.2 に各暦年標準パターンの構成データの年代の統計を示します。上の図は各データの期間を横方向に表示したものです。下の図は年度別のデータ数をカウントしたものです。

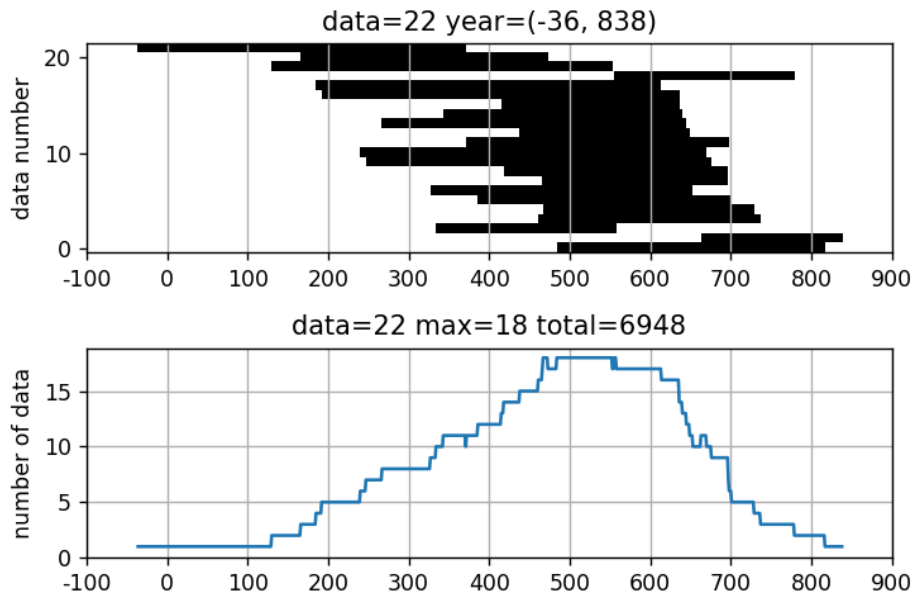
図から、一般的に暦年標準パターンの両端ではデータ数が少なく精度がよいことが予想されます。[1]ではデータ数は 15 以上が望ましいとされています。



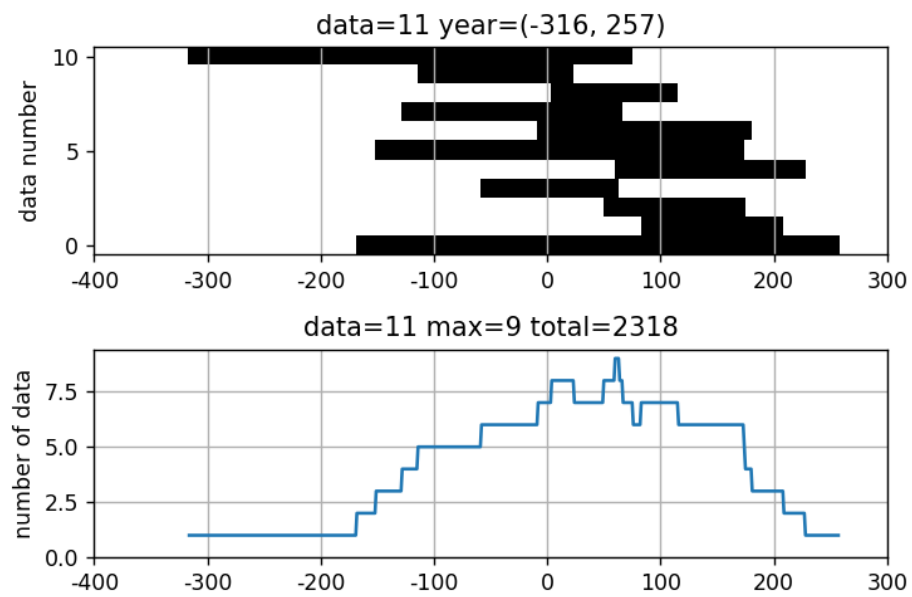
(a) 暦年標準パターン A (63 個)



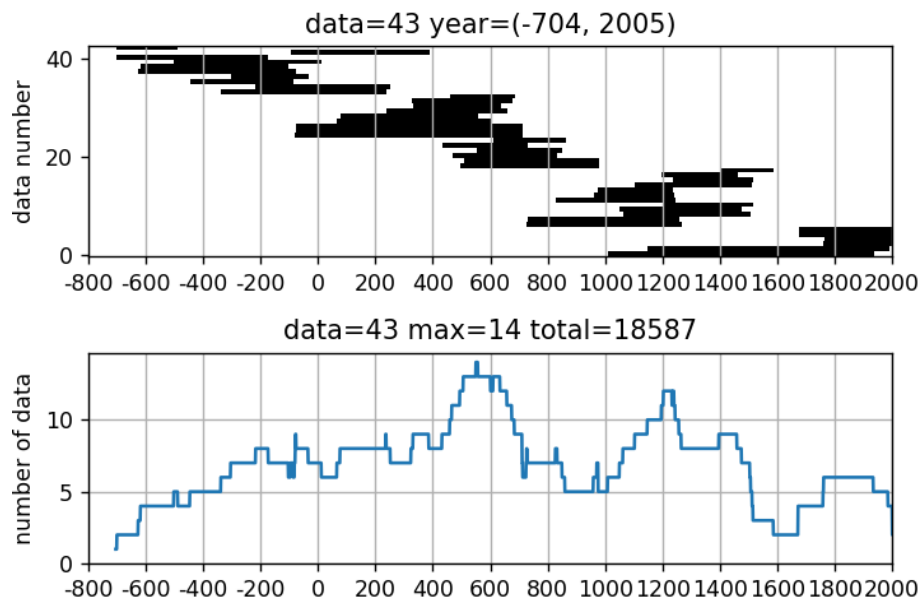
(b) 暦年標準パターン D (22 個)



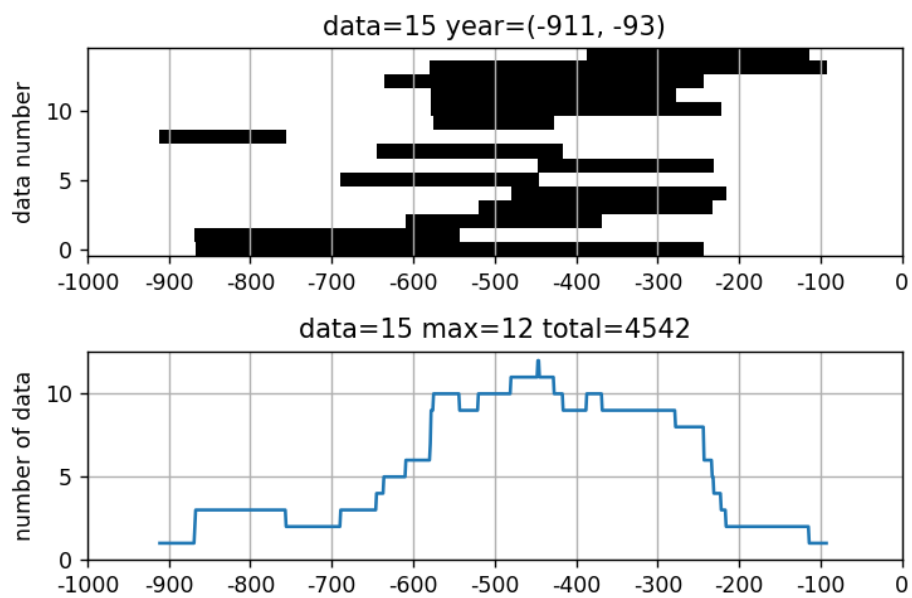
(c) 暦年標準パターン E (22 個)



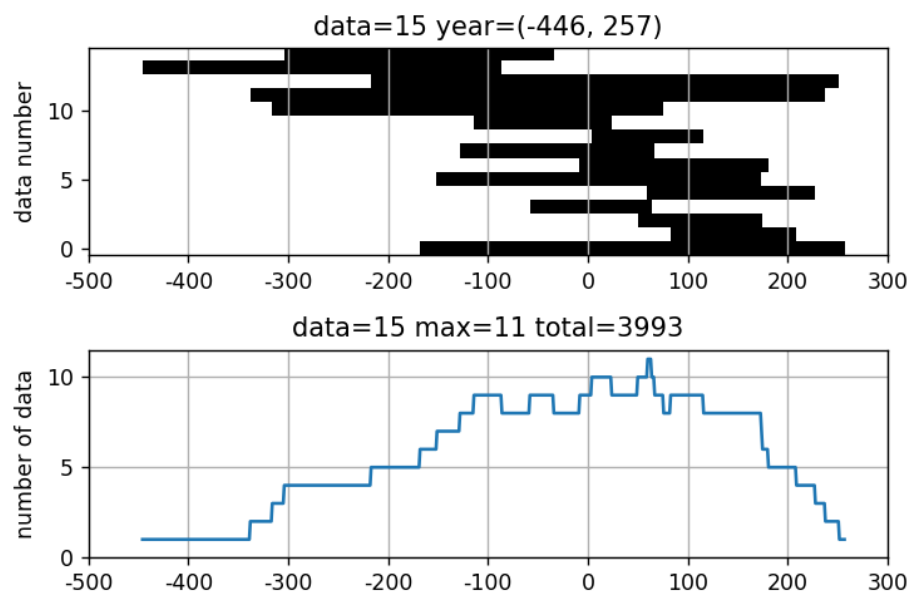
(d) 暦年標準パターン F (11 個)



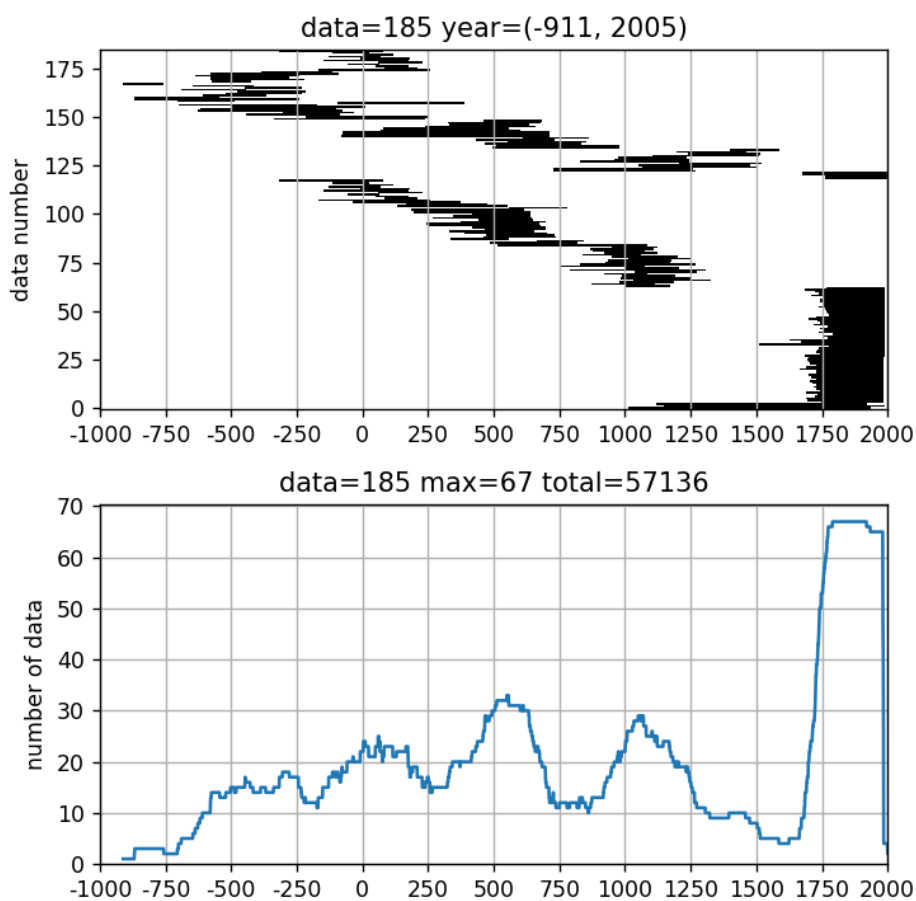
(e) 木曽ヒノキ暦年標準パターン (43 個)



(f) 埋木 15 点年輪パターン (15 個)



(g) 補足暦年標準パターン (15 個)



(h) 全データパターン (185 個)

図 2-2 暦年標準パターンの年代統計

3. 年輪データの解析

3.1 インストール

公開ファイル"mnsp.zip"をダウンロードして展開し適当なフォルダに保存してください。ドキュメントの下に適当な作業フォルダを作成してそこに保存することを推奨します。

ファイル構成は以下の通りです。

*.py	Python ソースコード (4 個)
data/*.txt	年輪データ (次節の作業済み)

3.2 年輪データファイルの編集

(前節のデータを使用するときは本節の作業は不要です)

公開された年輪データは XML 形式なので、これを単純なテキストファイルに変換します。

編集前の XML ファイル (p4p ファイル) に以下の変更を行います。

- ・第 1 行: 行ごと削除する
- ・第 2 行: 行ごと削除する
- ・第 3 行: 長い行の行末に最初のデータが含まれているのでその前で改行してデータを残した後削除する
- ・最終行: 行ごと削除する

各行は 5 個の数値データからなりますが、最初のデータ以外は使用しません (削除してもかまいません)。数値は 0.01mm 単位の年輪幅です。

その後、第 1 行に「年輪数 開始年」を挿入します。年輪数はデータの行数を数えてください。開始年は別途調べてください。その後ろに必要ならデータの意味を表すコメントを記入してください。ファイルの行数は年輪数+1 となります。

編集が終わったら適当な名前をつけて保存してください。拡張子は".txt"を推奨します。

(編集前)

```
<?xml version="1.0" encoding="UTF-8"?>
```

```
<PAST_4_PROJECT_FILE><PROJECT Name= (以下略)
```

```
]]><HEADER/><DATA Descriptor= (途中略) GRI[CDATA[104 1 1 0 104
```

```
75 1 1 0 75
```

```
107 1 1 0 107
```

```
110 1 1 0 110
```

(途中略)

```
48 1 1 0 48
```

```
51 1 1 0 51
```

```
54 1 1 0 54
```

```
]]></DATA></RECORD></PAST_4_PROJECT_FILE>
```

(編集後)

256 1728 コメント

104	1	1	0	104
75	1	1	0	75
107	1	1	0	107
110	1	1	0	110

(途中略)

48	1	1	0	48
51	1	1	0	51
54	1	1	0	54

3.3 データの標準化

年輪データファイルには各年の年輪幅が0.01mm単位で並んでいます。プログラムの内部ではmmに変換して処理しています。

図3-1に元データの一例を示します。横軸は西暦年、縦軸は年輪幅[mm]です。

年輪データには以下の三つが現れています。

(1)中期的な気候変動

(2)短期的な環境変化（気候変動に加えて隣の木が倒れたなど）

(3)樹齢による変化

このうち年輪年代法（dendrochronology）で必要になる情報は(2)のうちの気候変動です。(1)は年代を特定するには期間が長すぎ、(3)は個々の樹木の特性なので不要な情報です。

そのためにデータの規準化[1]または標準化[3]（standardization）が必要になります。[1]ではヨーロッパの研究にならって5年移動平均法、[3]ではスプライン関数が使用されています。ここでは移動平均法（moving average）を使用します。

各年の年輪幅を $x(i)$ としたとき、式(3-1)で移動平均 $x_{MA}(i)$ に変換します。

$$x_{MA}(i) = \frac{x(i-2) + x(i-1) + x(i) + x(i+1) + x(i+2)}{5} \quad (3-1)$$

式(3-1)は5年の場合ですが3年や7年も同様です。

次に式(3-2)によって標準化を行い $x_{STD}(i)$ に変換します。

$$x_{STD}(i) = \frac{x(i)}{x_{MA}(i)} \quad (3-2)$$

図3-2に移動平均年数を3,5,7年と変えたときの x_{MA} を示します。なお1年は移動平均をとる前の元データです。図から、移動平均年数が増えると平滑化されて変動が小さくなることがわかります。

図3-3に5年移動平均+標準化後の x_{STD} を示します。標準化後の年輪データは1の近傍の無次元量です。図から標準化によって中期的な変動と樹齢による変化が除去されることがわかります。標準化後のデータが表すものはその年の生育環境が前後数年と比べて良かったか悪かったかという情報です。

移動平均をとらない標準化は考えないので（1になり無意味）、以下では単に「標準化」というときは移動平均+標準化を表します。

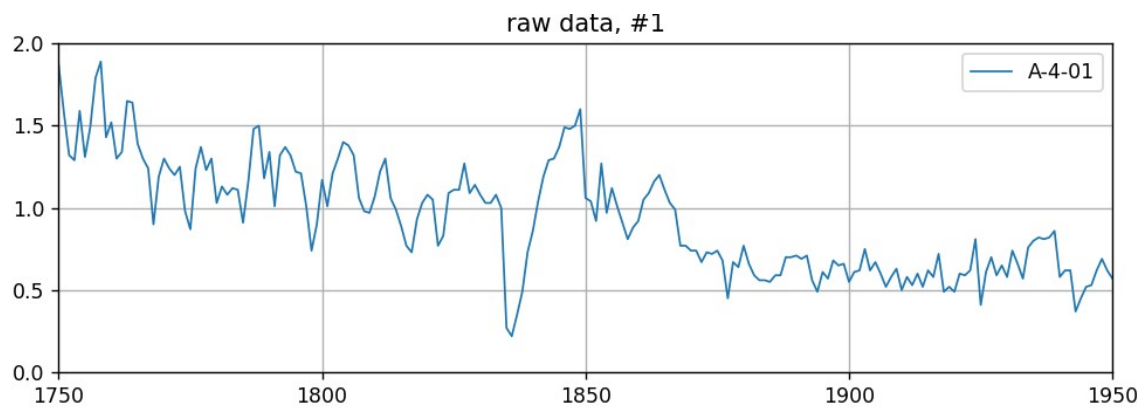


図 3-1 元データの年輪幅変化 (単位 mm)

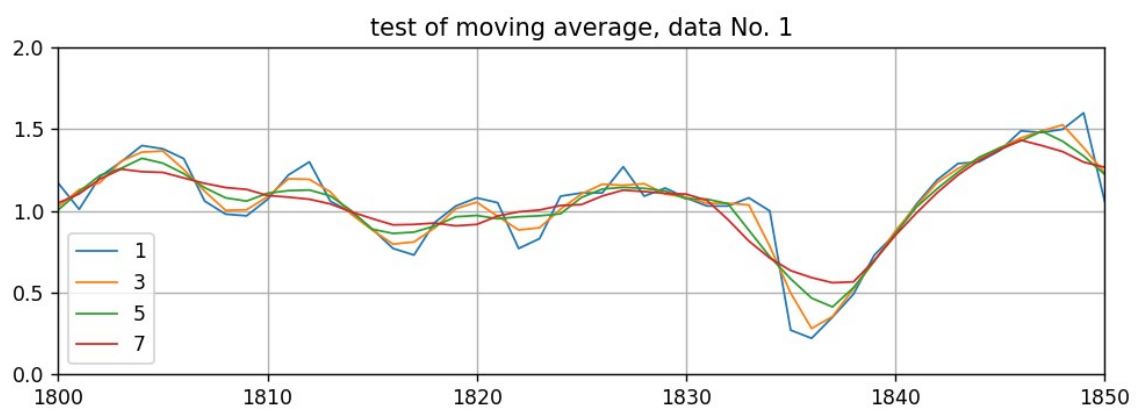


図 3-2 移動平均後の xMA (単位 mm)

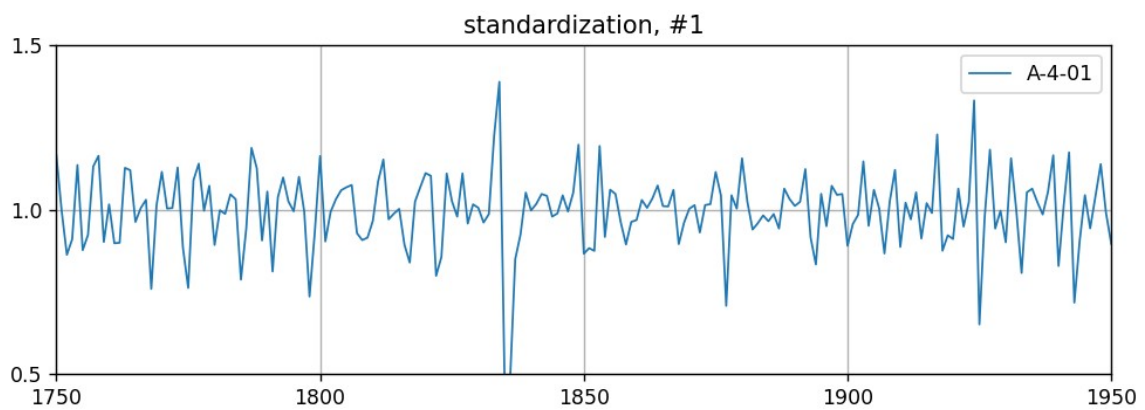


図 3-3 5 年移動平均+標準化後の xSTD

3.4 相関係数

年輪年代法の目的は年代が未知である木材の年代を特定することです。そのために年代のわかっているデータと未知のデータとを比較します。データの類似度を表すために相関係数を計算します。二つのデータ $x(i)$ と $y(i)$ の相関係数は次式で計算されます。

$$r = \frac{\sum_i x(i)y(i) - N\bar{x}\bar{y}}{\sqrt{\left(\sum_i x(i)^2 - N\bar{x}^2\right)\left(\sum_i y(i)^2 - N\bar{y}^2\right)}} \quad (3-3)$$

二つの年輪データの開始年と終了年が異なるときは共通する年に対して計算します。

標本数 N を考慮した確からしさ t 値が次式で計算されます。

$$t = \begin{cases} r\sqrt{\frac{N-2}{1-r^2}} & (r>0) \\ 0 & (r\leq 0) \end{cases} \quad (3-4)$$

なお、[1]では式(3-4)で r を $|r|$ としています。が、 $r<0$ は相関関係がないことを表すのでここでは $t=0$ とします。

図3-4に r と t の関係を表します。 N が大きくなると小さい相関係数 r でも大きい t になります。

[1]では $N>60$ 年を目安とし、 $t>3.5$ で二つのデータの年代は一致すると判定しています。

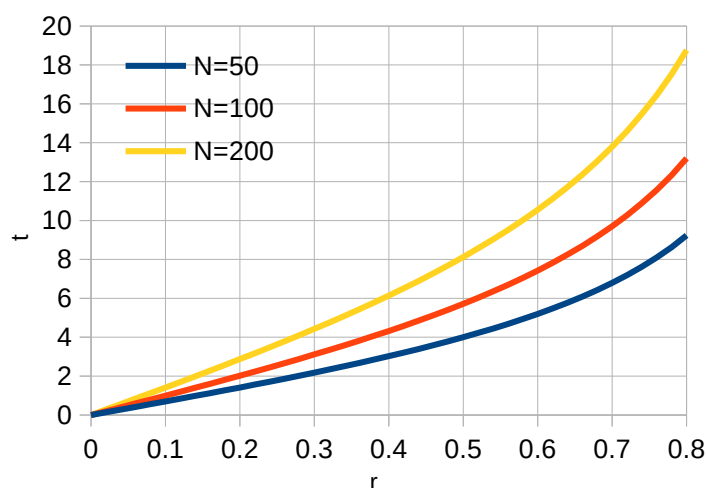


図3-4 r と t の関係

3.5 移動平均年数について

年輪データとして A-4～A-7 の 60 個をとり、それらのデータ間の r と t の平均について、移動平均年数を 3～9 年と変えたときの結果を図 3-5 に示します。移動平均のみと移動平均+標準化の 2 通りを考えています。

これから移動平均年数を大きくしたときの r と t の平均は、移動平均のみのときは大きくなり、移動平均+標準化のときは小さくなるのがわかります。年輪年代法にとって最適な移動平均年数は不明ですが、ここでは[1]に合わせて **5 年移動平均** をとります。

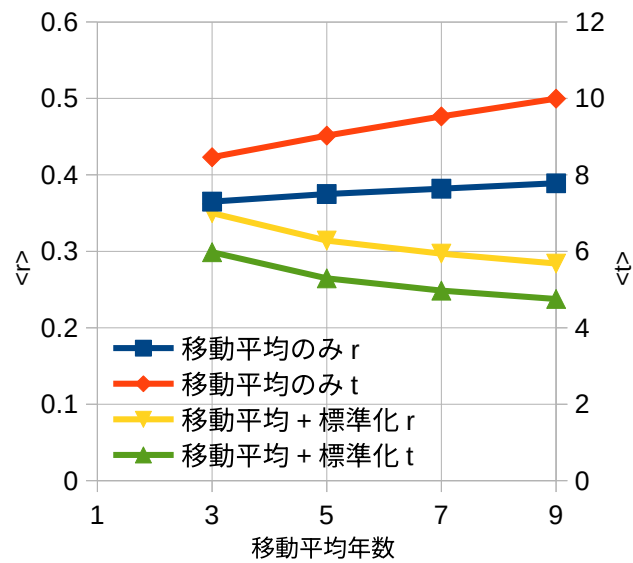


図 3-5 移動平均年数と r と t の平均の関係（データ数=60）

3.6 2 回標準化

図 3-6 に一つのデータ（A-4-01.txt）をとって、原データに加えて、標準化を行った結果とさらにもう一度標準化を行った結果を比較します。図から以下のことがわかります。

「2 回標準化を行ったものは 1 回標準化を行ったものと大きな違いはない」

本ケースでは 1 回標準化を行ったものと 2 回標準化を行ったものの相関係数は $r=0.986$ と高くなっています。

後で述べる照合ではデータを標準化したのち相関係数を計算しますが、標準化されたデータを再度標準化しても実害はないということがわかります。

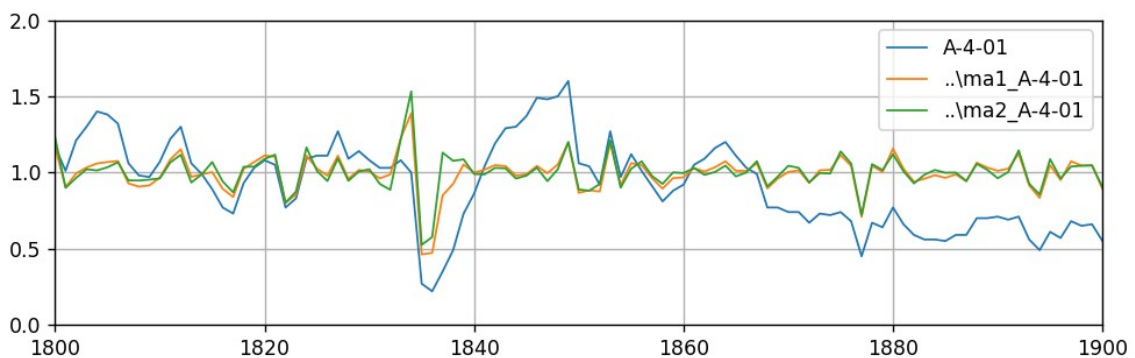


図 3-6 1 回標準化と 2 回標準化の比較

3.7 データ間平均

図 3-7 に 17 個のデータ (A-4-01.txt~A-4-17.txt) について以下の 3 通りで平均をとった結果を示します。

- (1) 単純平均
- (2) 5 年移動平均の平均
- (3) 5 年移動平均+標準化の平均

図から、以下のことがわかります。

- (1)では中期的な変動と短期的な変動が残ります。
- (2)では中期的な変動は残りますが短期的な変動は消えます。
- (3)では中期的な変動はなくなり短期的な変動は残ります。

3 データ間の t は $t_{12}=6.2$, $t_{13}=53.3$, $t_{23}=0$ となります。($t=0$ は $r<0$ を表します)

これから(2)の平均化は行ってはいけないことがわかります。(1)(3)の相関は高く、照合にはどちらを使用してもいいことがわかります。年輪データは以下の性質を持ちます。

「多数のデータの単純平均は移動平均+標準化と同じ効果を持つ」

出力ファイル名には(1)には"_raw_average"、(3)には"_std_average"を追加します。

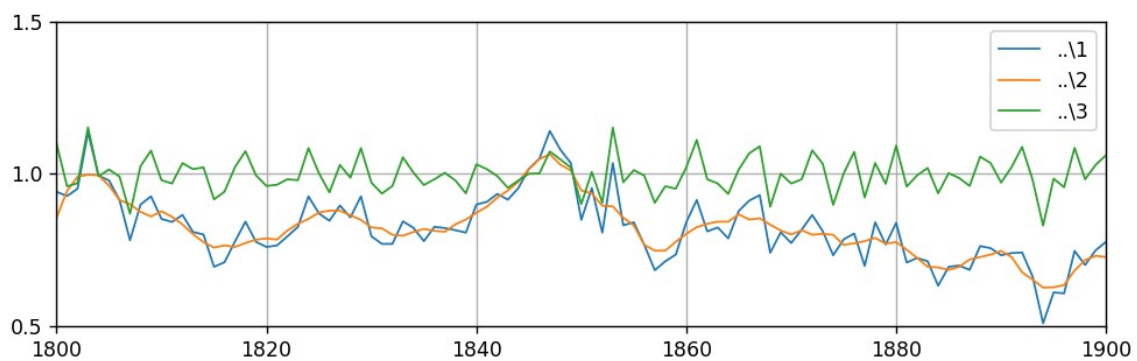


図 3-7 データ間平均について (データ数=17)

3.8 標準化データの分布

図 3-8 に A-4～A-7 の 60 個のデータの標準化された全データ（15766 個）の分布図を示します。平均は当然 1 に近くなり、標準偏差は 0.14 となります。

図中に、計算された平均と標準偏差からの正規分布を示します。正規分布に近いことがわかります。

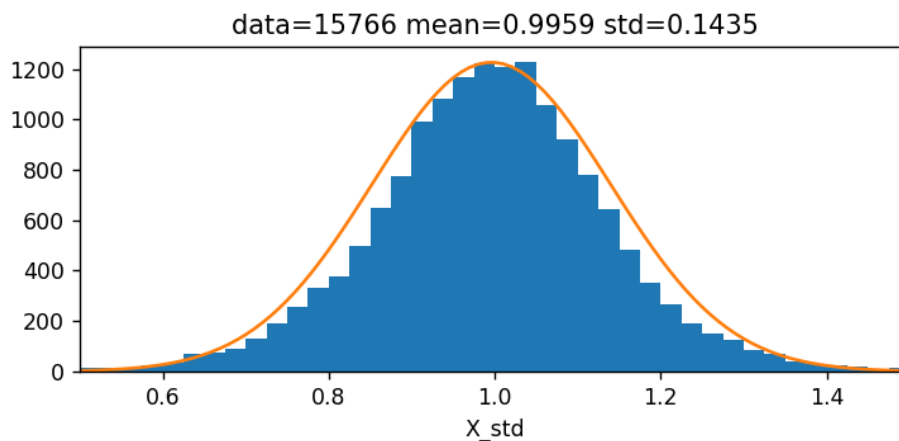


図 3-8 標準化データの分布図（ヒストグラム）

3.8 年輪データの種類

[1]では年輪データを以下の 3 タイプに分類しています。

- ・ A タイプ: 樹皮または最終形成年輪の一部が残存しているもの
- ・ B タイプ: 辺材部を含むもの
- ・ C タイプ: 心材部のみからなるもの

A タイプでは終了年=伐採年になります。

下図に辺材と心材の一例を示します。辺材は生きた組織、心材は死んだ組織です。



<https://hameitaya.com/owner-blog/column/16466/> から引用

4. プログラムの実行法

4.1 開発環境と動作環境

ソースコードはPython なので開発環境と動作環境は同じです。ここでは Windows11 で動作確認していますがその他の環境も同様です。

(1) Python のインストール

Microsoft Store の検索窓で"Python"と入力して最新の Python をインストールしてください。2025 年 8 月現在のバージョンは 3.13 です。

(2) 本プログラムは数値計算の標準ライブラリー NumPy[4]と図形出力の標準ライブラリー Matplotlib[5]を使用しています。ターミナル（コマンドプロンプト）を起動して以下のコマンドでインストールしてください。

```
> pip install numpy
```

```
> pip install matplotlib
```

以下のコマンドで numpy と matplotlib がインストールされたことを確認してください。

```
> pip list
```

4.2 プログラムの実行法

ターミナルを起動して、Python のソースコードのあるフォルダに移動して以下の作業を行います。

(1) エディタ（メモ帳など）でソースコードを開いて必要な変更を行い上書き保存する

(2) 以下のコマンドを実行する

```
> python mnsp.py
```

計算時間は数秒以内です。ターミナルに計算結果が表示されます。図形出力を指定したときは図形出力ウィンドウが開きます。複数枚を指定したときはウィンドウを閉じると次のウィンドウが開きます。

（注 1）

コマンド python は環境によっては python.exe または python3 となります。

（注 2）

Visual Studio Code または JupyterLab を使用するとより効率的に作業をすることができます。

ユーザーの編集するソースコードはメインプログラム mnsp.py です。その他のソースコードは通常は編集不要です。

プログラムは計算、図形出力、数値出力の 3 つからなります。以下、順に説明します。

4.3 計算

main 関数で計算の設定を行います。

リスト `fndata` に年輪データファイル名を登録してください。拡張子".txt"は不要です。入力した順にデータ番号=0,1,2,...となります。先頭に#がある行はコメントです。

照合を行うときは、照合部を"if 1:"とした後、パラメーターを設定してください。

4.4 図形出力

`_plot` 関数で図形出力を行います。

図形出力は7項目あります。下記のように `_plot` 関数の各ブロックに分かれています。先頭を"if 1:"とするとその項目が有効になります。その中の各パラメーターを適当に編集してください。

(1) 原データ

```
if 0:
    figtitle = 'raw data'      # ウィンドウタイトル
    figsize = (8, 3)          # ウィンドウサイズ(inch)
    idata0 = 0;                # 開始データ番号
    idata1 = 0;                # 終了データ番号
    year0 = 1800               # 開始年
    year1 = 1900               # 終了年
    xdiv = 50                  # 横軸分割量
    ymin = 0.0                 # 縦軸最小[mm]
    ymax = 2.0                 # 縦軸最大[mm]
    ydiv = 4                   # 縦軸分割数
```

(2) 標準化

```
if 0:
    figtitle = 'standardization' # ウィンドウタイトル
    figsize = (8, 3)            # ウィンドウサイズ(inch)
    idata0 = 0;                 # 開始データ番号
    idata1 = 0;                 # 終了データ番号
    year0 = 1800                # 開始年
    year1 = 1900                # 終了年
    xdiv = 50                   # 横軸分割量
    ymin = 0.5                  # 縦軸最小
    ymax = 1.5                  # 縦軸最大
    ydiv = 2                    # 縦軸分割数
```

(3) 標準化データの平均

```
if 0:
    figtitle = 'average of standardization' # ウィンドウタイトル
    figsize = (8, 3)                        # ウィンドウサイズ(inch)
    year0 = 1800 # 開始年
    year1 = 1900 # 終了年
    xdiv = 50    # 横軸分割量
    ymin = 0.5   # 縦軸最小
    ymax = 1.5   # 縦軸最大
    ydiv = 2     # 縦軸分割数
```

(4) 散布図

```
if 0:
    figtitle = 'scatter' # ウィンドウタイトル
    figsize = (8, 4)     # ウィンドウサイズ(inch)
    idata0 = 0;          # 開始データ番号
    idata1 = 1;          # 終了データ番号
```

```

fmin  = 0.5 # 軸最小値
fmax  = 1.5 # 軸最大値
fdiiv = 2   # 軸分割数
marker = 3   # マーカーサイズ

# (5) r/t マップ
if 0:
    figtitle = 'r/t' # ウィンドウタイトル
    figsize = (8, 4) # ウィンドウサイズ(inch)
    rmin = 0.0 # r 最小値
    rmax = 0.6 # r 最大値
    tmin = 0   # t 最小値
    tmax = 10  # t 最大値

# (6) r/t ヒストグラム
if 0:
    figtitle = 'histogram r/t' # ウィンドウタイトル
    figsize = (8, 3)          # ウィンドウサイズ(inch)
    bins = 20 # 分割数
    rmin = 0.0 # r 最小値
    rmax = 1.0 # r 最大値
    tmin = 0   # t 最小値
    tmax = 20  # t 最大値

# (7) 照合, 照合の計算をしたときのみ有効
if 0:
    figtitle = 'compare' # ウィンドウタイトル
    figsize = (8, 3)     # ウィンドウサイズ(inch)
    rt = 't'             # 'r' or 't'
    ymax = 10            # 縦軸最大値

```

図 4-1 に図形出力例を示します。各図の見方は以下の通りです。

(1) 原データ

データを加工せずにそのまま表示したものです。横軸は西暦、縦軸は年輪幅[mm]です。データの確認に使用します。

(2) 標準化

標準化後のデータです。縦軸は 1 の近傍の無次元量です。中期的な気候変動と樹齢の影響を取り除いています。標準パターンを作成するための基礎資料になります。

(3) 標準化データの平均

複数の標準化データの平均を表示したものです。上の data= にデータ数が表示されます。個々のデータの偏りを除くとともに年輪幅の測定誤差を小さくする効果があります。これが暦年標準パターンになります。

(4) 散布図

2 個以上のデータについて全組み合わせの散布図を表示したものです。データ数を n とすると $n(n-1)/2$ 個の図が表示されます。相関関係が高いときは対角線に集中します。各図の上に標本数 N と t が表示されます。基本的に標準化後のデータを使用します。

(5) r/t マップ

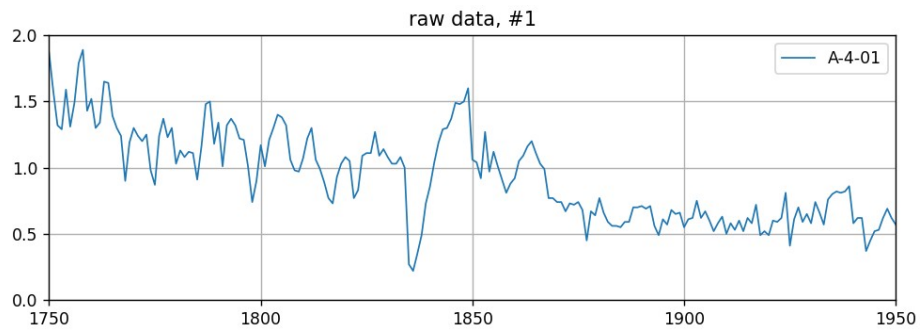
2 個以上のデータについて全組み合わせの r と t の等高線を表示したものです。赤いほど相関関係が高いことを表します。対角線について対称です。対角線は意味がないので青で表示しています。図では軸のデータ番号が 0 から始まることに注意してください。上にデータ数と対角線を除いた平均値が表示されます。基本的に標準化後のデータを使用します。

(6) r/t ヒストグラム

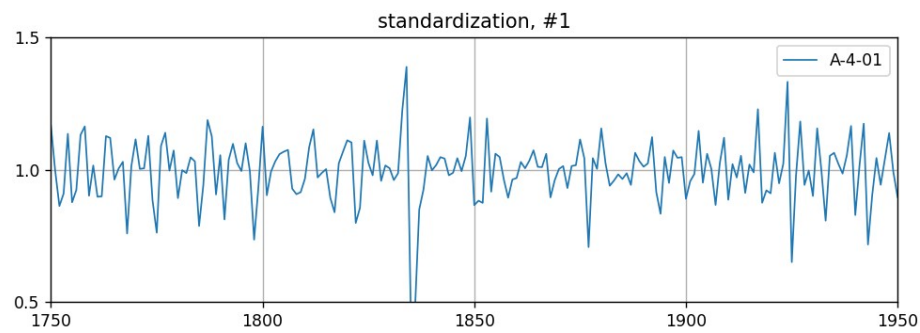
2 個以上のデータについて全組み合わせの r と t のヒストグラムです。データ数を n とすると標本数 $N=n(n-1)/2$ となります。上にデータ数と標本数が表示されます。基本的に標準化後のデータを使用します。

(7) 照合

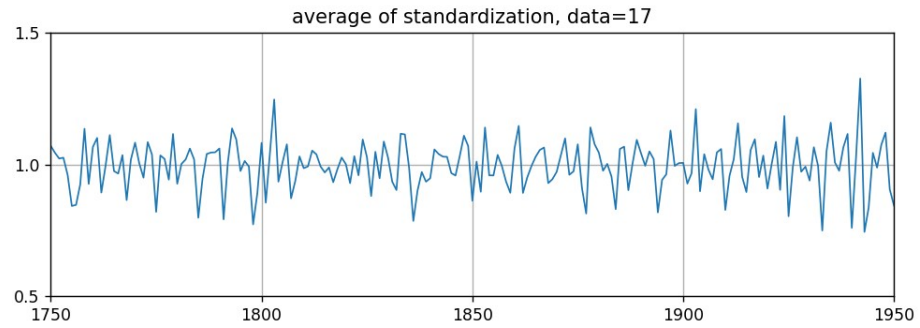
標準パターンを参考にして開始年がわからないテストデータの開始年を調べることを"照合" (cross-dating) と呼びます[1]。中心にピークが現れたらテストデータの開始年が正しいことがわかります。照合の方法については 4.7 を参考にしてください。基本的に標準化後のデータを使用します。



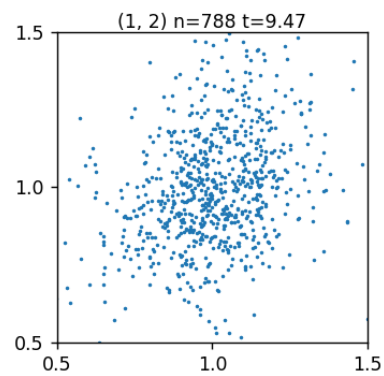
(1) 原データ



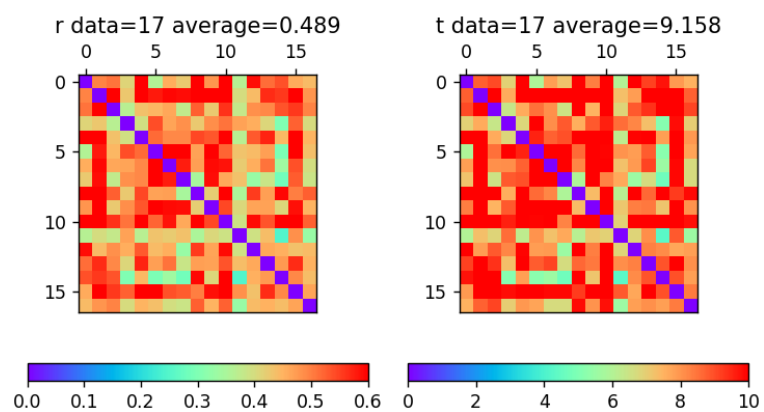
(2) 標準化



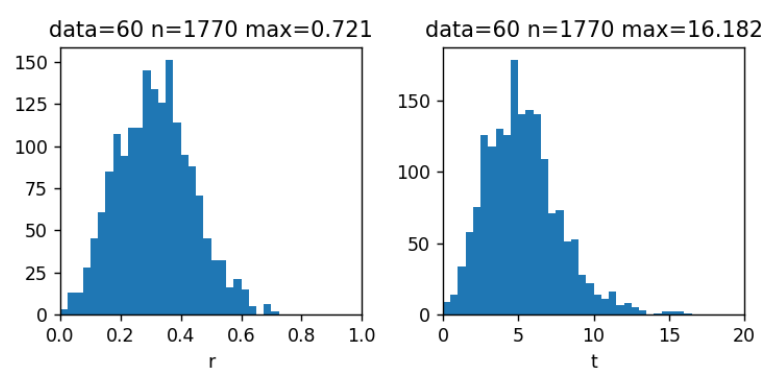
(3) 標準化データの平均



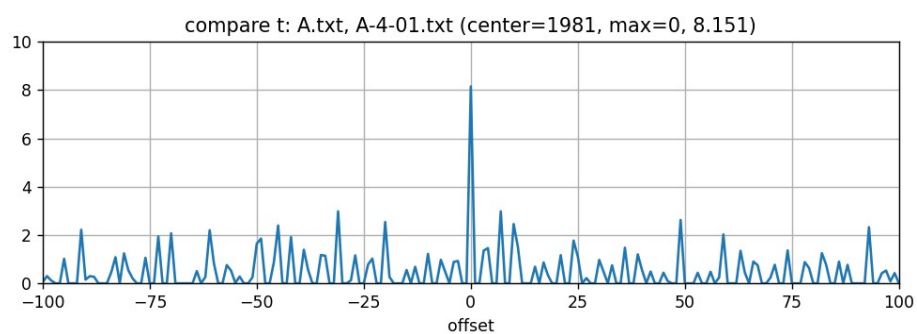
(4) 散布図



(5) r/t マップ



(6) r/t ヒストグラム



(7) 照合

図 4-1 図形出力例

4.5 数値出力

_output 関数で数値出力を行います。計算結果がテキストファイルに出力されるので、Excel 等で独自に処理することができます。

数値出力は3項目あります。下記のように_output 関数の各ブロックに分かれています。先頭を"if 1:"とするとその項目が有効になります。その中の各パラメーターを適当に編集してください。数値出力は毎回上書きされます。通常はすべて ON のままでかまいません。

```
# (1) 標準化, 指定したデータのみ
if 1:
    idata0 = 0 # 開始データ番号
    idata1 = 0 # 終了データ番号

# (2) データ間平均
if 1:
    fn = 'average.txt' # ファイル名

# (3) r/t/y 行列
if 1:
    fn = 'rty.log' # ファイル名

# (4) 照合
if 1:
    fn = 'compare.log' # ファイル名
```

以下で各項目の数値出力例とその意味を示します。

(1) 標準化

```
236 1746
54.2
80.6
99.1
...
```

第1行は年輪数と開始年です。

第2行以下は各年の年輪幅（単位 0.01mm）です。

年輪データと同じ書式です。

出力ファイル名は入力ファイル名の頭に"ma_"が付加されます。

(2) データ間平均

```
478 1507
94.8
101.1
81.6
...
```

第1行は年輪数と開始年です。

第2行以下は各年の年輪幅（単位 0.01mm）です。

年輪データと同じ書式です。

(3) r/t/y 行列

r	1	2	3
1		0.497	0.509
2	0.497		0.617
3	0.509	0.617	

t	1	2	3
1		8.753	9.050
2	8.753		13.297
3	9.050	13.297	

y	1	2	3
1		236	236
2	236		290
3	236	290	

r,t,y（重複年数）の3ブロックからなります。

第1行は項目名（r/t/y）とデータ番号です。

第2行以下は行列値です。対称行列です。対角線は空白になっています。重複期間がないデータの組み合わせは0と表示されます。

(4) 照合

...

-2	234	-0.205695	0.000000
-1	235	-0.021885	0.000000
0	236	0.496627	8.752592
1	236	-0.129036	0.000000
2	236	-0.171196	0.000000

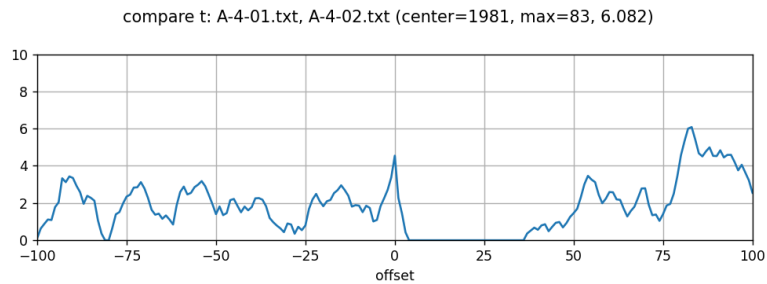
...

各行は開始年の変動量、重複年数、r、tです。

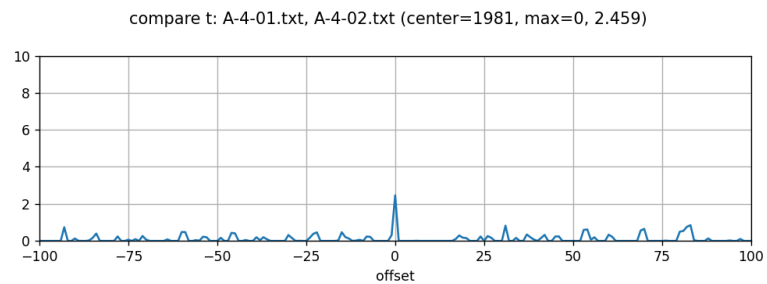
4.6 照合と標準化の関係

図 4-2 に二つの開始年が確定しているデータにおいて、標準化 ON/OFF の 4 つの組み合わせで照合を行った結果を示します。図から両方を標準化した(d)の t が最も高くなります。これから以下のことがわかります。

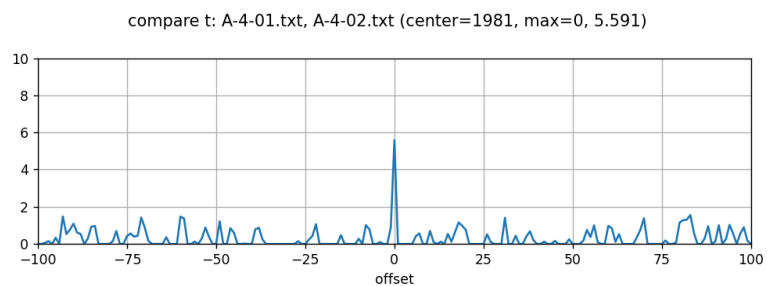
「精度よく照合を行うには両方のデータを標準化することが必要である」



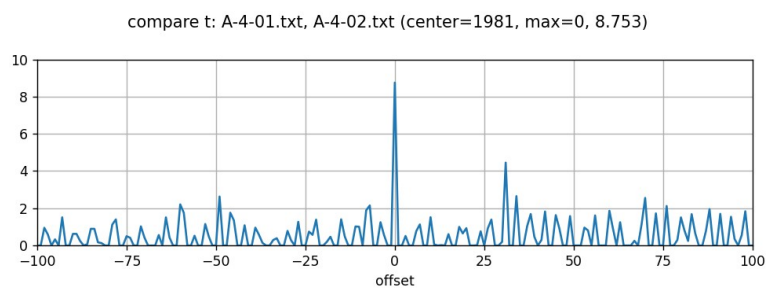
(a) データ 1 標準化なし、データ 2 標準化なし



(b) データ 1 標準化なし、データ 2 標準化あり



(c) データ 1 標準化あり、データ 2 標準化なし



(d) データ 1 標準化あり、データ 2 標準化あり

図 4-2 照合と標準化の関係

4.7 照合による開始年の決定

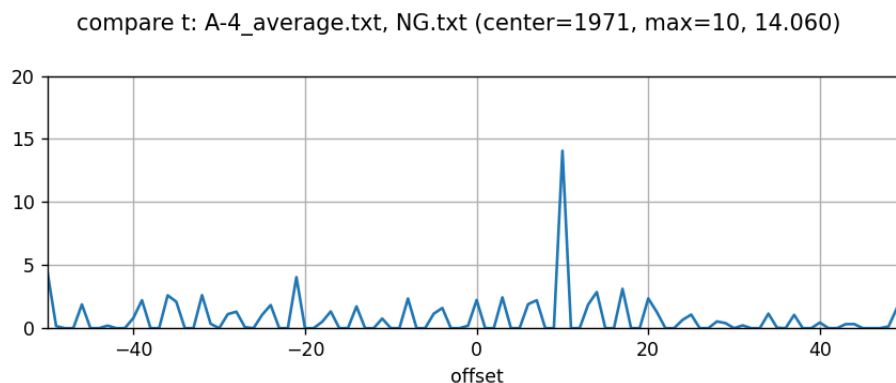
図4-3は照合の結果をもとに開始年を修正する方法について説明したものです。

テストデータの開始年（第1行の第2データ）には適当な値を入力しておいてください。

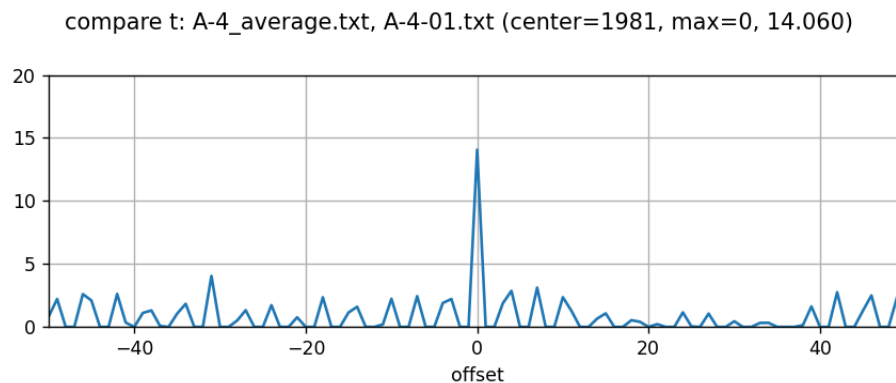
図の横軸はテストデータの開始年を前後させた量、縦軸はそのときのtです。

図(a)はテストデータの開始年が10年小さいときです。このとき offset=10 年に高いピークが現れます。上の(max=)にも表示されます。これをもとにテストデータの開始年を+10と修正すると図(b)のように横軸中心 (offset=0) にピークが来て、上に"max=0"と表示されます。このときの"center="はテストデータの終了年です。

上に、標準パターンファイル名、テストデータファイル名、テストデータ終了年、t最大年の変動量、t最大値が表示されます。また、図(a)と図(b)は単純な平行移動です。



(a) 開始年が正しくないとき



(b) 開始年が正しいとき

図4-3 照合による開始年の修正法

5. 暦年標準パターン A の解析

5.1 A-1～A-3

A-1,A-2,A-3 は年輪数 800 を超える巨木です。

図 5-1 に原データを示します。

図 5-2 に 3 通りの組み合わせの標準化後の散布図を示します。A-1 と A-2 の相関は高いですが、A-3 は他との相関は比較的低いです。

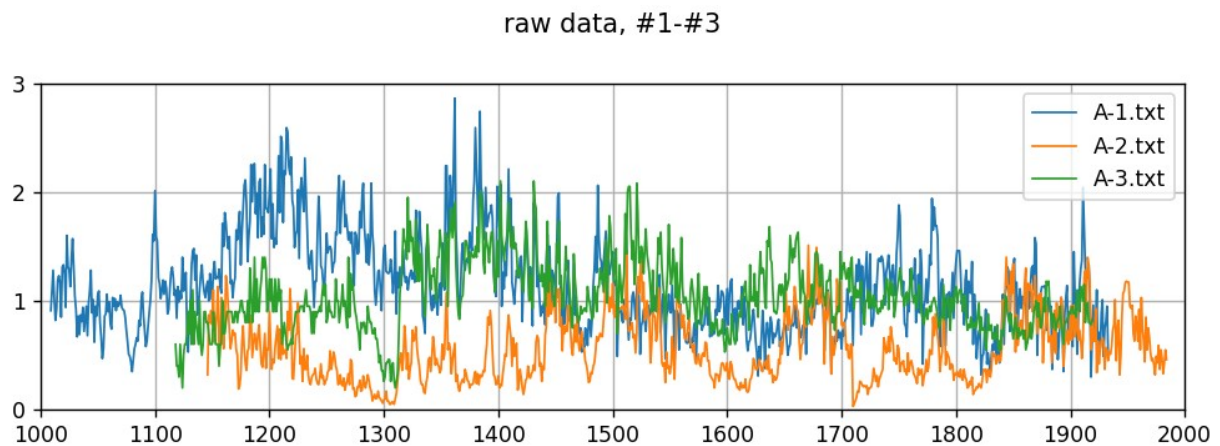


図 5-1 A-1,A-2,A-3 の原データ

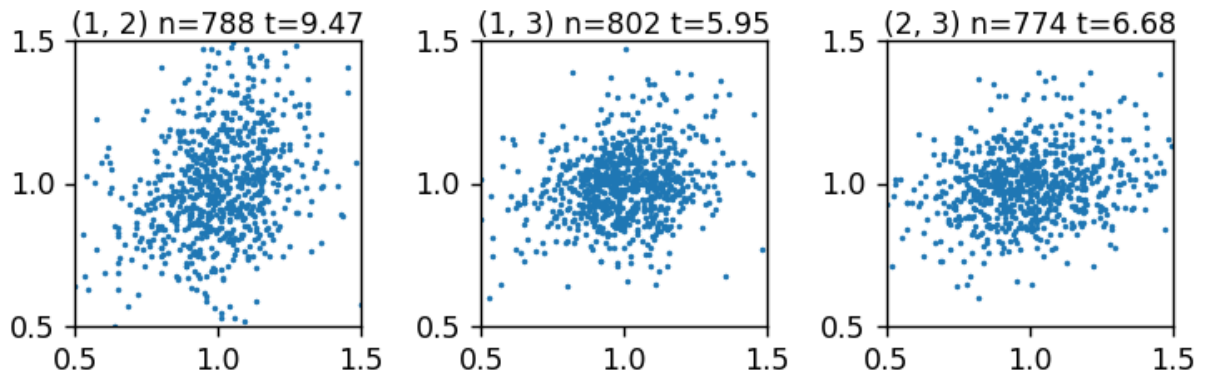
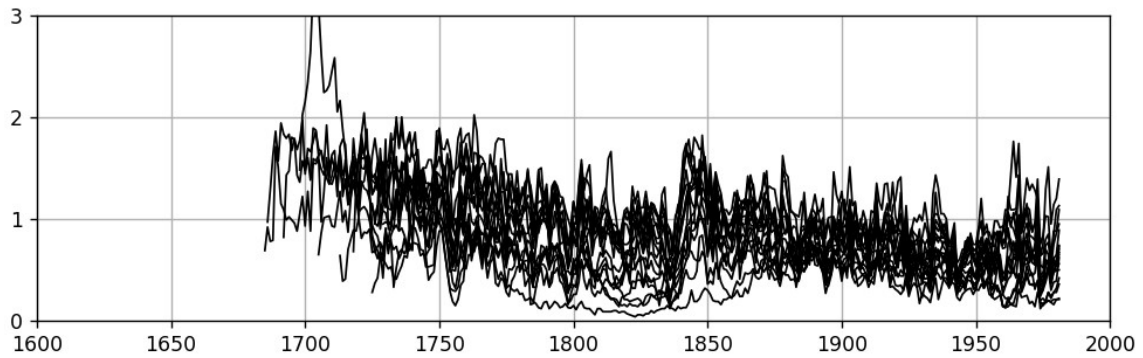


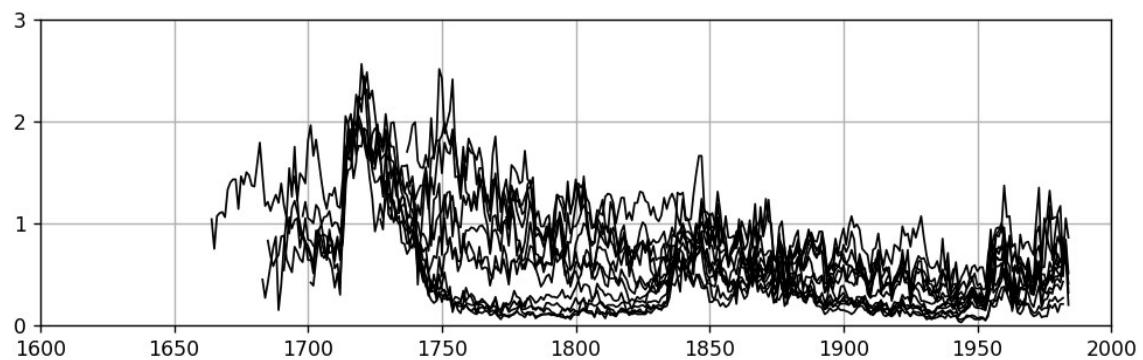
図 5-2 A-1,A-2,A-3 の散布図

5.2 A-4～A-7

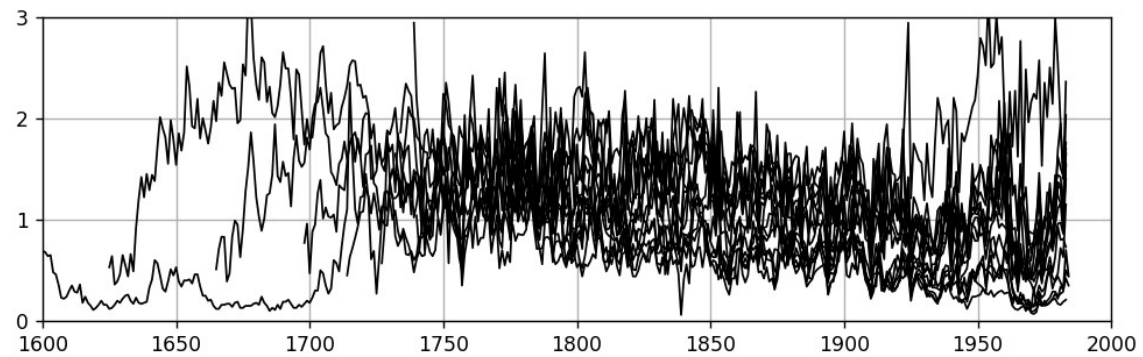
図5-3にA-4～A-7の原データを示します。個々の区別はできませんが全体の傾向がわかります。



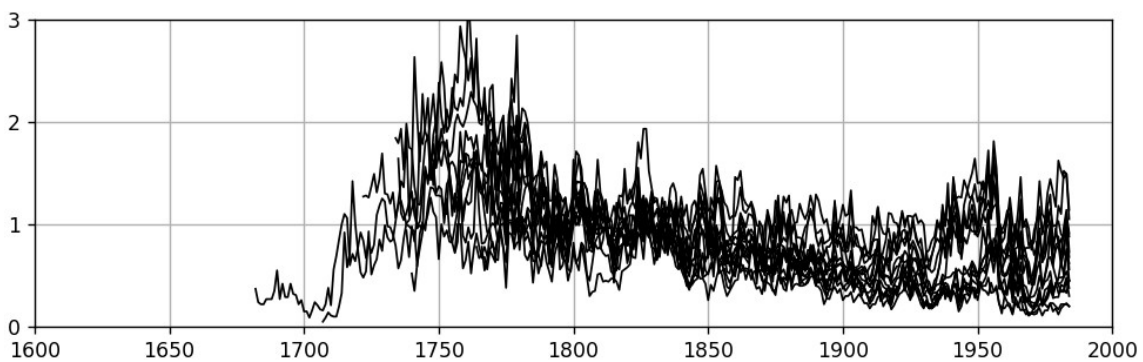
(a) A-4 (17 本)



(b) A-5 (13 本)



(c) A-6 (15 本)



(d) A-7 (15 本)

図5-3 A-4～A-7 の原データ

図 5-4 に公開された暦年標準パターン A と公開された個々のデータ（A-1～A-7）の単純平均（A_raw_average）および標準化後に平均化したもの（A_std_average）を比べた結果を示します。上二つは類似しており中期的な変動が見られます。以上から、公開された暦年標準パターンは単純平均に近い操作を行っているものと考えられます。

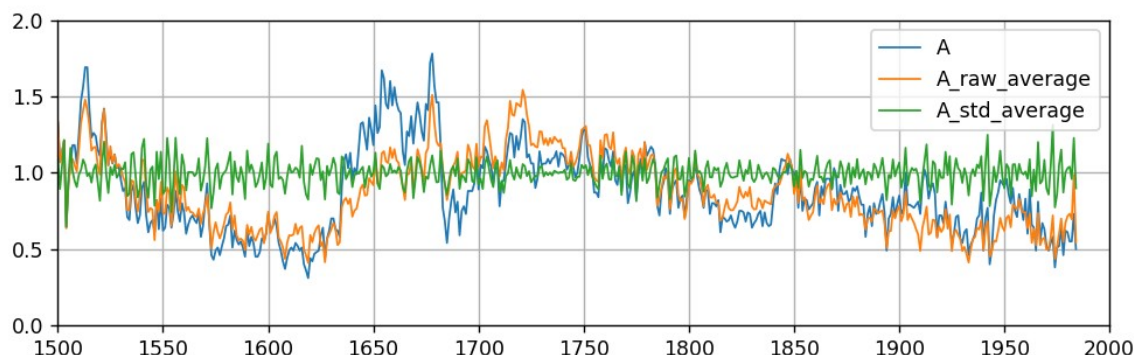


図 5-4 A 全データの 3 種類の平均化済データ

図 5-5 に上記 3 データを標準化した後の散布図を示します。t 行列は $t_{12}=63.6$, $t_{13}=40.9$, $t_{23}=68.4$ であり、いずれも相関が高いことがわかります。照合では通常標準化したデータを使用するため、3 つのどれを使用してもかまわないと思われます。

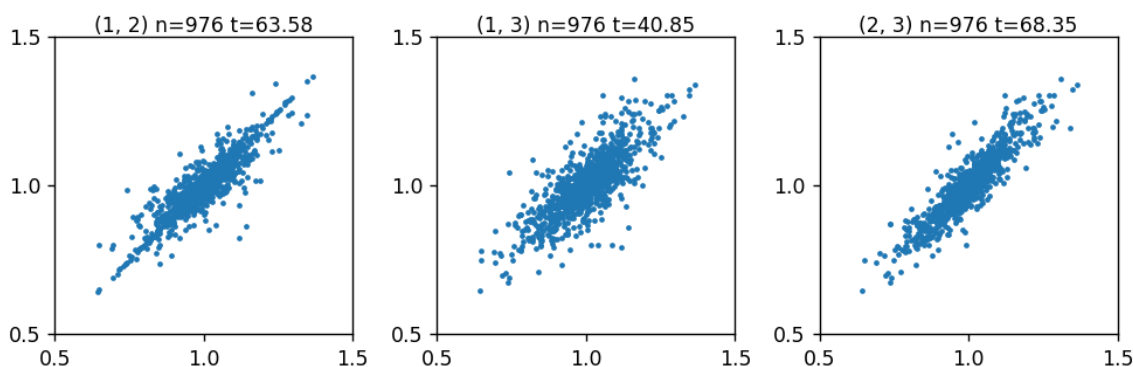


図 5-5 平均化済データの散布図

図 5-6 に以下の 4 ケースの t マップを示します。最初のデータはその他を平均化したものです。

(a) A-4 と A-4-01～A-04-17 の $1+17=18$ データ

(b) A-5 と A-5-01～A-05-13 の $1+13=14$ データ

(c) A-6 と A-6-01～A-06-15 の $1+15=16$ データ

(d) A-7 と A-7-01～A-07-15 の $1+15=16$ データ

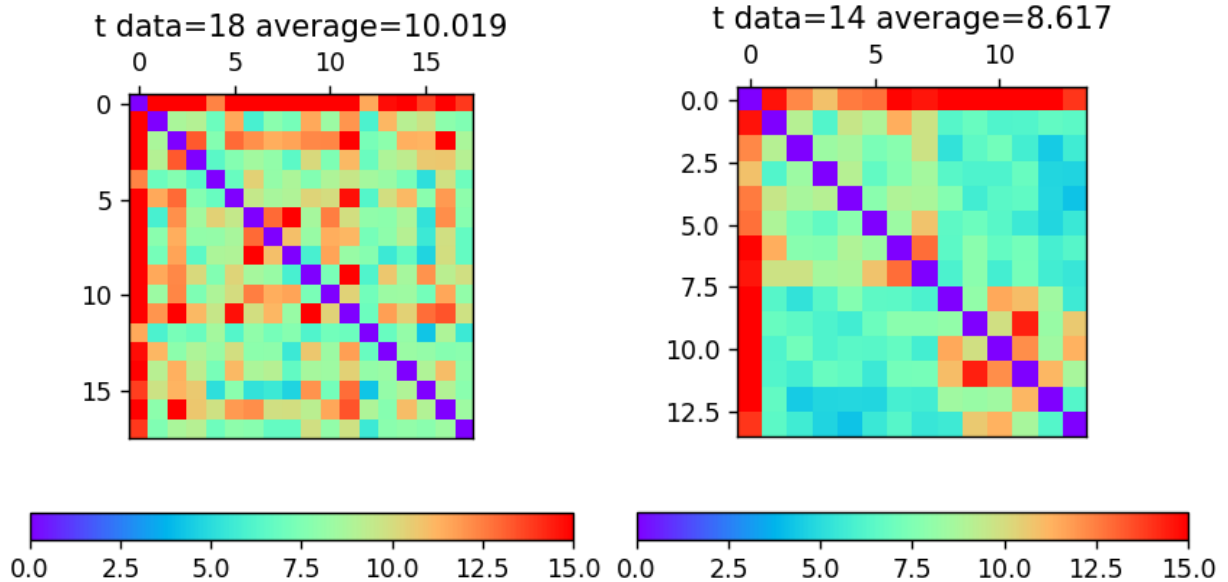
図からすべてのケースのすべての組み合わせで t が高いことがわかります。データの開始年に 1 年でも誤りがあると他のデータとまったく相関がとれず、その行と列がすべて青くなります。以上からすべてのデータの開始年が正しいことがわかります。

一つの例外は A-6-11 と A-6-14 の組み合わせですが、どちらのデータも他のデータとは相関が高いためデータ自体に問題はないと思われます。

図から、元データを平均化したデータ（第1行と第1列）は他のすべてと高いtを示しています。これから、以下の著しい特性がわかります。

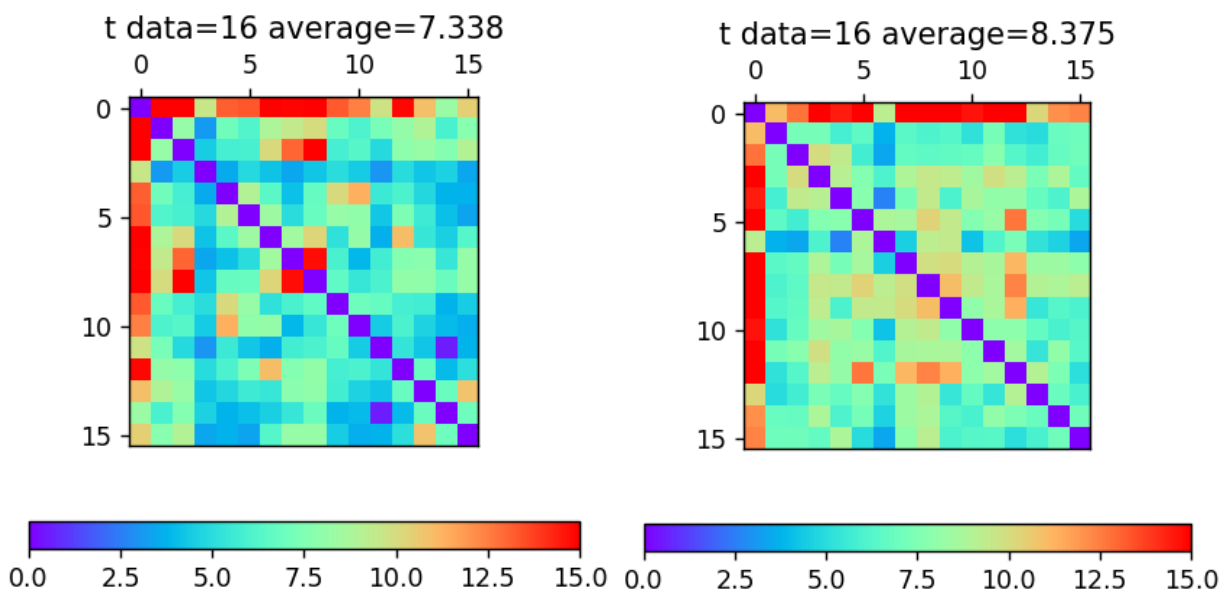
「平均をとったデータは他のすべてのデータと一段と高い相関を示す」

これが標準パターンを作成する意義です。



(a) A-4, A-4-01~A-04-17

(b) A-5, A-5-01~A-05-13



(c) A-6, A-6-01~A-06-15

(d) A-7, A-7-01~A-07-15

図 5-6 A-4~A-7 の t マップ

図 5-7 に A-4（17 本）、A-5（13 本）、A-6（15 本）、A-7（15 本）の計 60 本の単体データ間の t マップを示します。

ほとんどの組み合わせで、相関が高いとされる $t > 3.5$ を満たしていますが、一部の組み合わせでは相関が低くなっています。特に地域が異なる組み合わせで相関が低くなる傾向があります。

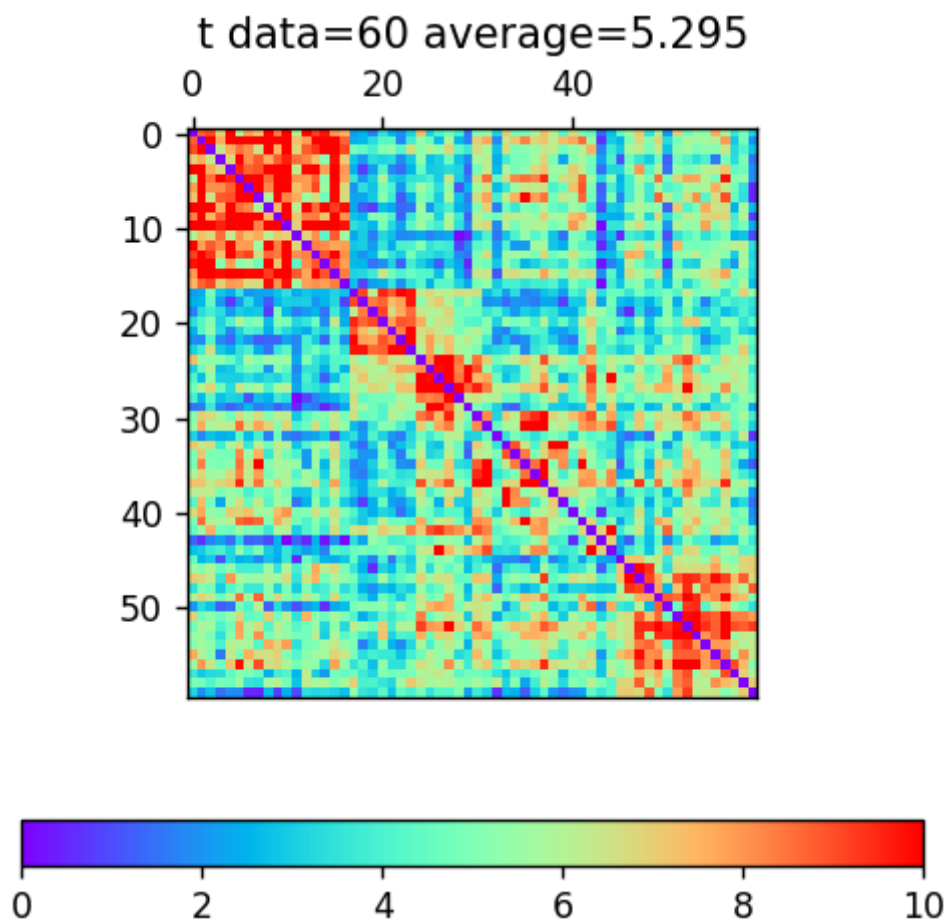


図 5-7 A-4～A-7 の t マップ（標準化後）

6. 暦年標準パターン D

図 6-1 に公開された暦年標準パターン D と公開された個々のデータ（D-1～D-3）の単純平均（D_raw_average）および標準化後に平均化したもの（D_std_average）を比べた結果を示します。上二つはよく一致しています。公開された暦年標準パターン D は全データの単純平均と思われます。

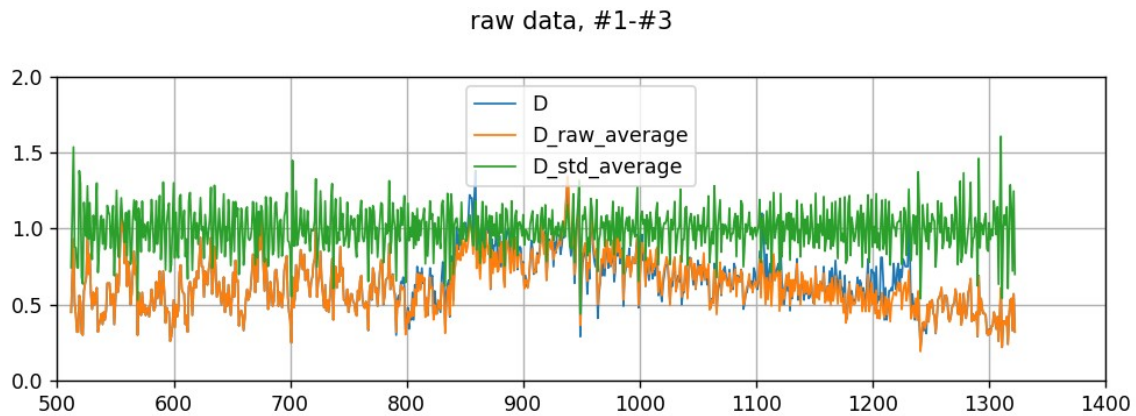


図 6-1 暦年標準パターン D の 3 種類の平均化済データ

図 6-2 に全データを平均化したものと個々のデータ（D-1～D-3）合計 1+22=23 個のデータ間の t マップを示します。図から暦年標準パターン A と同じく以下のことがわかります。

- (1) すべてのデータの組み合わせの t がある程度以上ある
- (2) すべてのデータの開始年が正しい（すべて青い行はない）
- (3) 全データを平均すると他のすべてのデータと相関が高くなる（第 1 行と第 1 列が赤い）

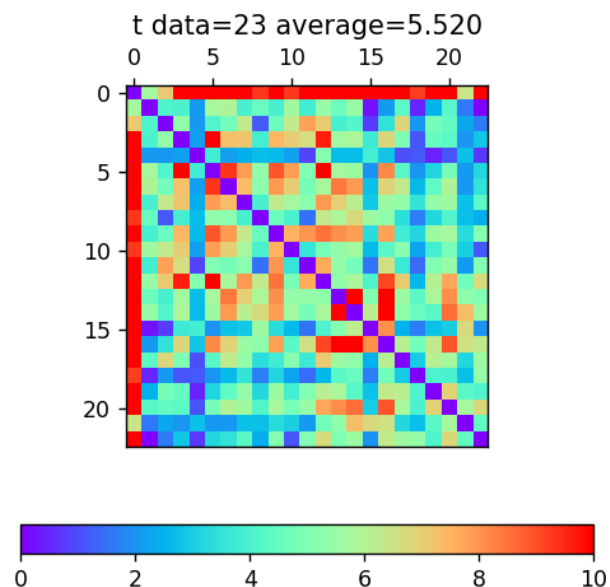


図 6-2 暦年標準パターン D の t マップ（D, D-1～D-3、標準化後）

7. 暦年標準パターン E

図 7-1 に公開された暦年標準パターン E と公開された個々のデータ（E-01～E-22）の単純平均（E_raw_average）および標準化後に平均化したもの（E_std_average）を比べた結果を示します。上二つはよく一致しています。公開された暦年標準パターン E は全データの単純平均と思われます。

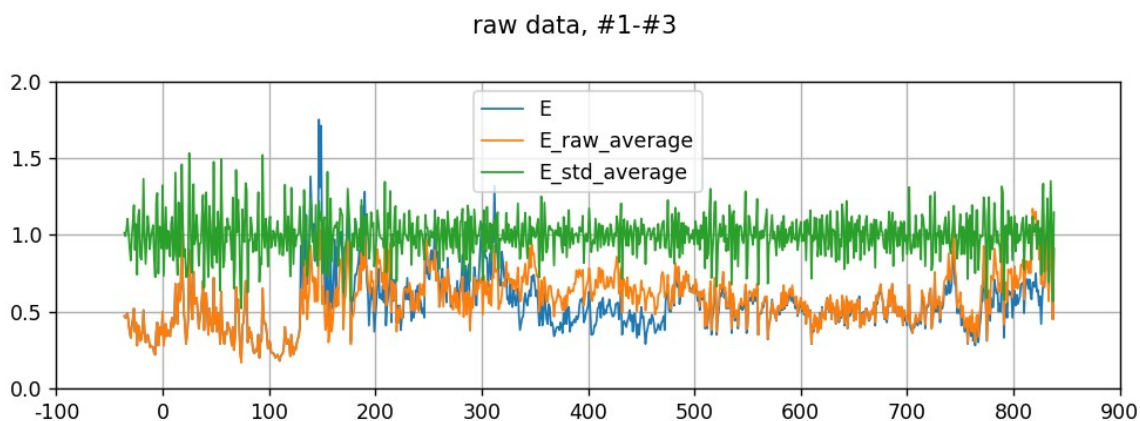


図 7-1 暦年標準パターン E の 3 種類の平均化済データ

図 7-2 に全データを平均化したものと個々のデータ（E-01～E-22）合計 1+22=23 個のデータ間の t マップを示します。青い点については相関が低いか期間が重複しないかは `rty.log` で確認してください。図から暦年標準パターン A と同じく以下のことがわかります。

- (1) すべてのデータの組み合わせの t がある程度以上ある（期間が重複しない組み合わせ除く）
- (2) すべてのデータの開始年が正しい（すべて青い行はない）
- (3) 全データを平均すると他のすべてのデータと相関が高くなる（第 1 行と第 1 列が赤い）

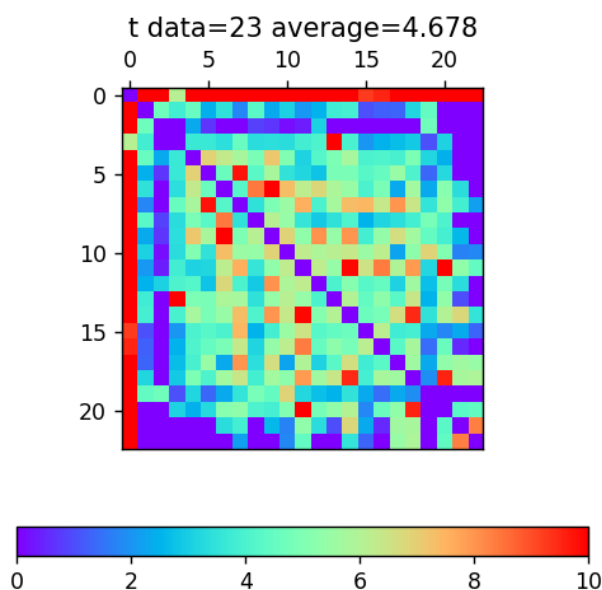


図 7-2 暦年標準パターン E の t マップ（E, E-01～E-22、標準化後）

8. 暦年標準パターンF

図 8-1 に公開された暦年標準パターン F と公開された個々のデータ (F-01～F-11) の単純平均 (F_raw_average) および標準化後に平均化したもの (F_std_average) を比べた結果を示します。上二つはよく一致しています。公開された暦年標準パターン F は全データの単純平均と思われます。

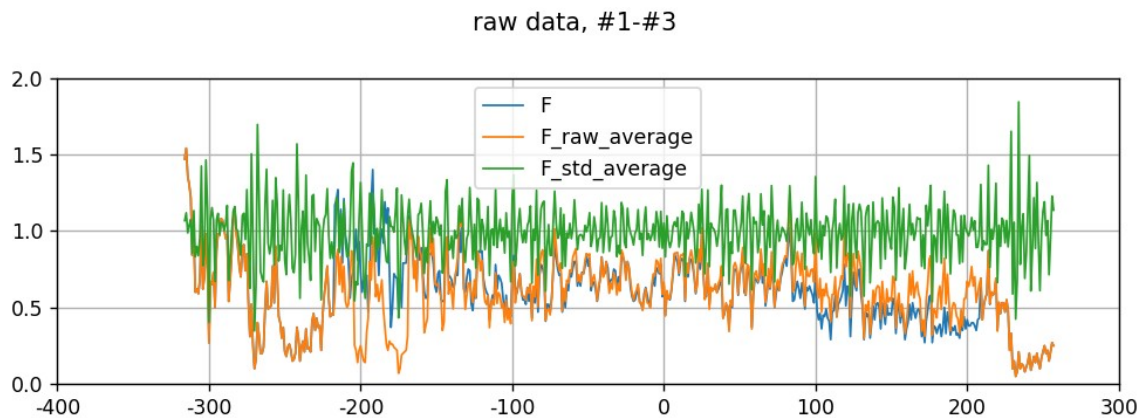


図 8-1 暦年標準パターン F の 3 種類の平均化済データ

図 8-2 に全データを平均化したものと個々のデータ (F-01～F-11) 合計 1+11=12 個のデータ間の t マップを示します。青い点については相関が低いか期間が重複しないかは [rty.log](#) で確認してください。図から暦年標準パターン A と同じく以下のことがわかります。

- (1) すべてのデータの組み合わせの t がある程度以上ある (期間が重複しない組み合わせ除く)
- (2) すべてのデータの開始年が正しい (すべて青い行はない)
- (3) 全データを平均すると他のすべてのデータと相関が高くなる (第 1 行と第 1 列が赤い)

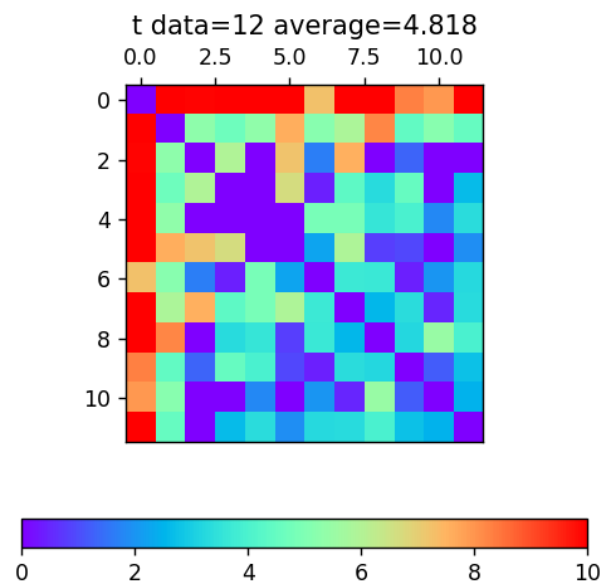


図 8-2 暦年標準パターン F の t マップ (F, F-01～F-11、標準化後)

9. 木曽ヒノキ暦年標準パターン

図9-1に公開された木曽ヒノキ暦年標準パターンと公開された個々のデータ（K-1～K-7）の単純平均（KISO_raw_average）および標準化後に平均化したもの（KISO_std_average）を比べた結果を示します。上二つはよく一致しています。公開された木曽ヒノキ暦年標準パターンは全データの単純平均と思われます。

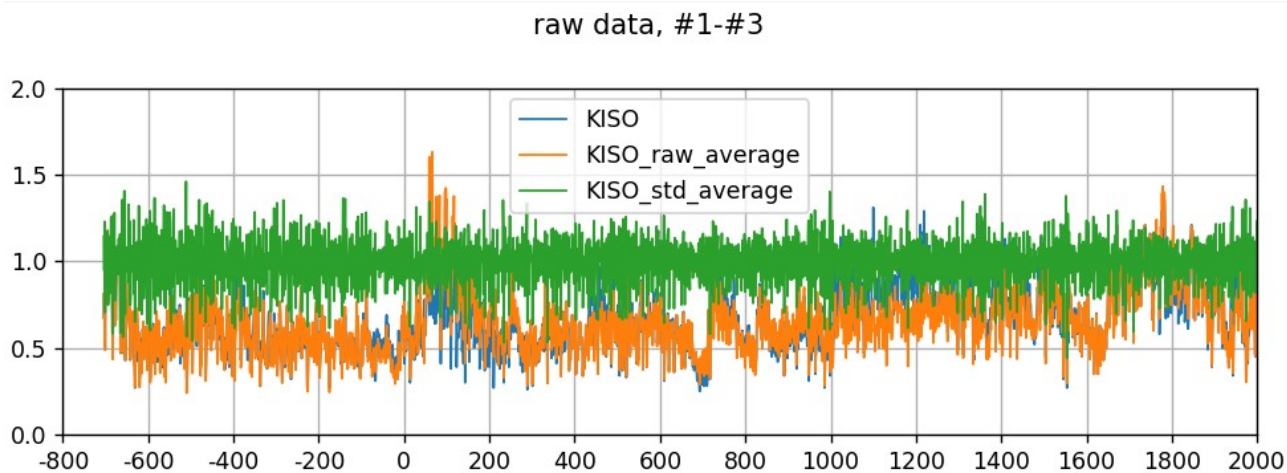


図9-1 木曽ヒノキ暦年標準パターンの3種類の平均化済データ

図9-2に全データを平均化したものと個々のデータ（K-1～K-7）合計1+43=44個のデータ間のtマップを示します。全期間が長いために期間が重複しない組み合わせが多数あります（図の青い部分、rty.logで確認できます）。図から暦年標準パターンAと同じく以下のことがわかります。

- (1) すべてのデータの組み合わせのtがある程度以上ある（期間が重複しない組み合わせ除く）
- (2) すべてのデータの開始年が正しい（すべて青い行はない）
- (3) 全データを平均すると他のすべてのデータと相関が高くなる（第1行と第1列が赤い）

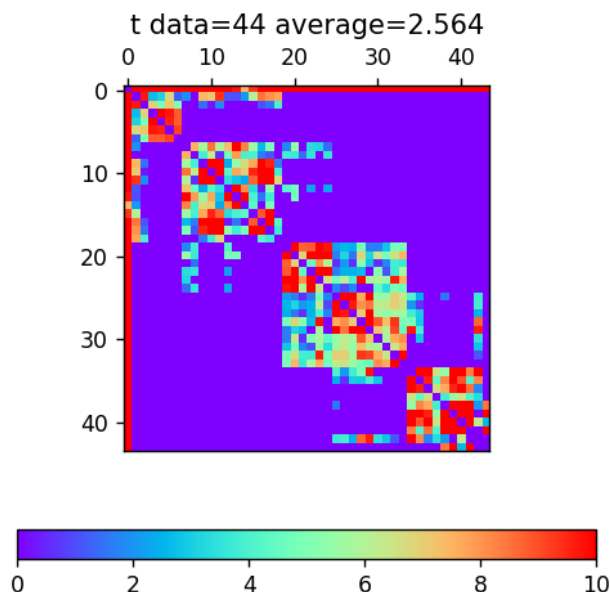


図9-2 木曽ヒノキ暦年標準パターンのtマップ（K, K-1～K-7、標準化後）

10. 埋木 15 点年輪パターン

図 10-1 に公開された埋木 15 点年輪パターンと公開された個々のデータ（U-01～U-15）の単純平均（UMEKI15_raw_average）および標準化後に平均化したもの（UMEKI15_std_average）を比べた結果を示します。上二つはよく一致しています。公開された埋木 15 点年輪パターンは全データの単純平均と思われます。

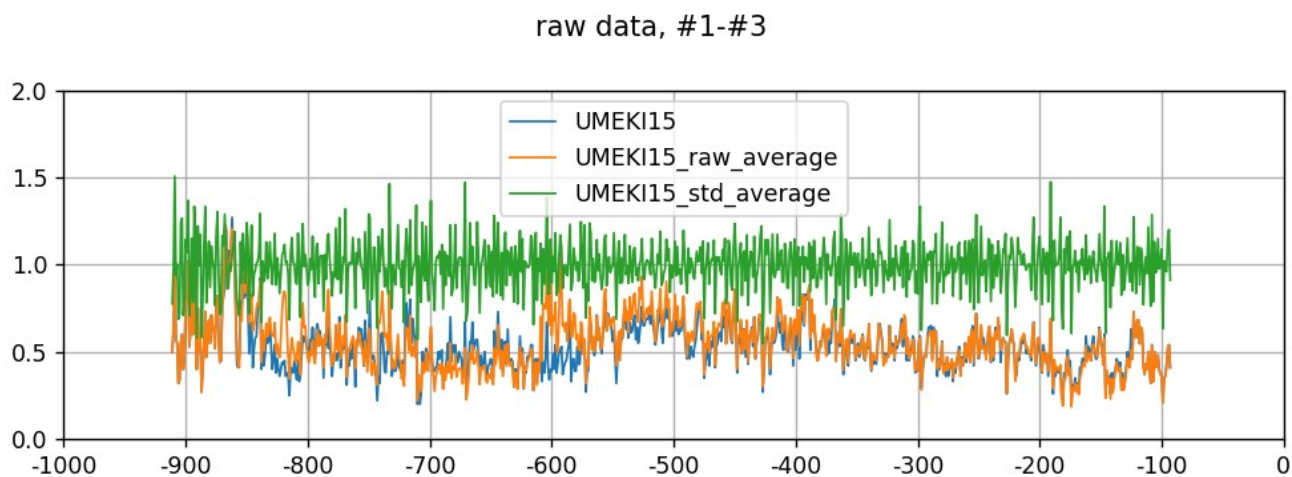


図 10-1 埋木 15 点年輪パターンの 3 種類の平均化済データ

図 10-2 に全データを平均化したものと個々のデータ（U-01～U-15）合計 1+15=16 個のデータ間の t マップを示します。青い点については相関が低いか期間が重複しないかは `rty.log` で確認してください。図から暦年標準パターン A と同じく以下のことがわかります。

- (1) すべてのデータの組み合わせの t がある程度以上ある（期間が重複しない組み合わせ除く）
- (2) すべてのデータの開始年が正しい（すべて青い行はない）
- (3) 全データを平均すると他のすべてのデータと相関が高くなる（第 1 行と第 1 列が赤い）

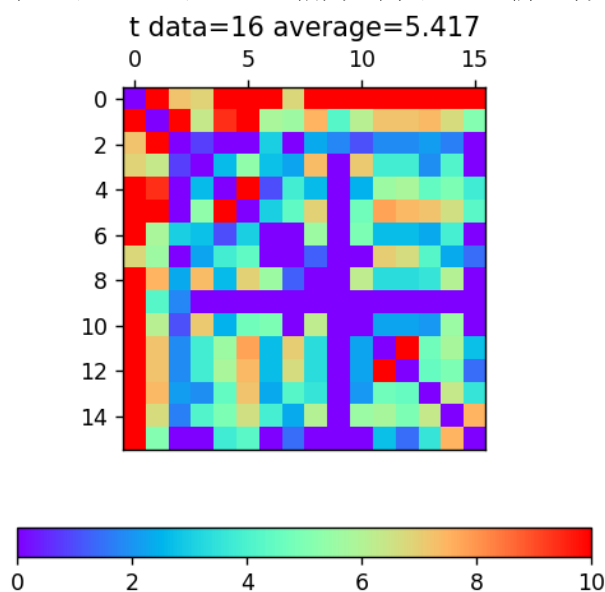


図 10-2 埋木 15 点年輪パターンの t マップ（UMEKI15, U-01～U-15、標準化後）

11. 補足暦年標準パターン

図 11-1 に公開された補足暦年標準パターンと公開された個々のデータ（H-1～H-2）の単純平均（HOSOKU_raw_average）および標準化後に平均化したもの（HOSOKU_std_average）を比べた結果を示します。上二つはよく一致しています。公開された補足暦年標準パターンは全データの単純平均と思われる。

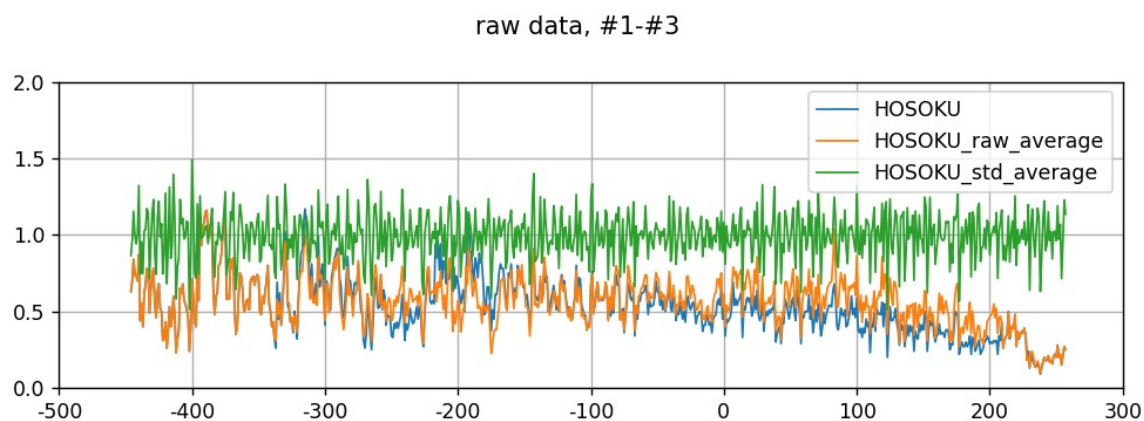


図 11-1 補足暦年標準パターンの3種類の平均化済データ

図 11-2 に全データを平均化したものと個々のデータ（H-1～H-2）合計 1+15=16 個のデータ間の t マップを示します。青い点については相関が低いか期間が重複しないかは `rty.log` で確認してください。図から暦年標準パターン A と同じく以下のことがわかります。

- (1) すべてのデータの組み合わせの t がある程度以上ある（期間が重複しない組み合わせ除く）
- (2) すべてのデータの開始年が正しい（すべて青い行はない）
- (3) 全データを平均すると他のすべてのデータと相関が高くなる（第 1 行と第 1 列が赤い）

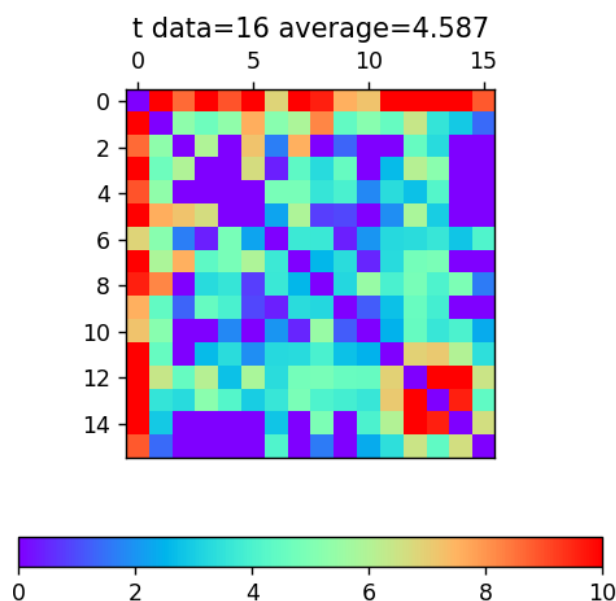


図 11-2 補足暦年標準パターンの t マップ（HOSOKU, H-1～H-2、標準化後）

12. 暦年標準パターンのまとめ

前章までの検討により、公開された暦年標準パターンについては以下のことがわかりました。

- (1) すべてのデータの組み合わせの t がある程度以上ある（期間が重複しない組み合わせ除く）
- (2) すべてのデータの開始年が正しい
- (3) 公開された暦年標準パターンは全構成データの単純平均と思われる

また、年輪データについては、以下の性質があることがわかりました。

- (1) 多数のデータの単純平均は移動平均+標準化と同じ効果を持つ
- (2) 平均をとったデータは他のすべてのデータと一段と高い相関を示す
- (3) 精度よく照合を行うには両方のデータを標準化することが必要である
- (4) 2回標準化を行ったものは1回標準化を行ったものと大きな違いはない

年輪データの平均化については以下の3通りを考えました。(1)と(2)はほぼ同じであることがわかりました。

- (1) 公開されている暦年標準パターン
- (2) 公開されている原データの単純平均（ファイル名"raw_average"）
- (3) 公開されている原データの標準化後の平均（ファイル名"std_average"）

表 12-1 にそれぞれの暦年標準パターンにおいて、3通りの平均化データ間の t 行列を示します。表中の1,2,3は上の(1),(2),(3)に対応します。

すべてのケースにおいて、 t は36以上となり高い相関を示します。

表 12-1 3通りの平均化データ間の t 行列

	暦年標準パターン	t_{12}	t_{13}	t_{23}
1	A	63.6	40.8	68.3
2	D	112.3	73.2	109.0
3	E	85.0	58.4	92.3
4	F	39.5	36.2	61.0
5	木曾ヒノキ	130.4	97.4	155.7
6	埋木 15 点	62.9	61.5	90.2
7	補足	63.7	51.8	69.8

表 12-2 に各暦年標準パターン間の重複年数を示します。重複するデータに関しては重複期間は 224 年以上です。

表 12-3～表 12-6 に各暦年標準パターン間の t を示します。公開データ/標準化データ、再標準化なし/ありの 4 ケースを計算しています。重複年数=0 の組み合わせには $t=0$ を代入しています。また、 $t<5$ の組み合わせを赤くしています。

表から以下のことがわかります。

- (1) 標準化データは公開データと比べて全体的に t が大きい
- (2) 公開データは標準化を行うと t が下がるケースが多い
- (3) 標準化データは再度標準化してもあまり変わらない

以上から照合には標準化データを使用した方がよいと思われます。照合時に再度標準化されますが実害はありません。

表 12-2 暦年標準パターン間の重複年数

y	1	2	3	4	5	6	7
1 A		314	0	0	976	0	0
2 D	314		327	0	811	0	0
3 E	0	327		294	875	0	294
4 F	0	0	294		574	224	574
5 KISO	976	811	875	574		612	704
6 UMEKI15	0	0	0	224	612		354
7 HOSOKU	0	0	294	574	704	354	

表 12-3 暦年標準パターン間の t (公開データ、標準化なし)

t	1	2	3	4	5	6	7
1 A		1.467	0	0	38.728	0	0
2 D	1.467		10.822	0	13.339	0	0
3 E	0	10.822		5.597	11.346	0	7.651
4 F	0	0	5.597		7.114	0.493	31.898
5 KISO	38.728	13.339	11.346	7.114		8.981	25.848
6 UMEKI15	0	0	0	0.493	8.981		3.697
7 HOSOKU	0	0	7.651	31.898	25.848	3.697	

表 12-4 暦年標準パターン間の t (公開データ、標準化あり)

t	1	2	3	4	5	6	7
1 A		4.934	0	0	28.167	0	0
2 D	4.934		6.572	0	0.000	0	0
3 E	0	6.572		0.000	0.880	0	0.000
4 F	0	0	0.000		1.568	0.000	45.922
5 KISO	28.167	0.000	0.880	1.568		6.289	8.361
6 UMEKI15	0	0	0	0.000	6.289		4.285
7 HOSOKU	0	0	0.000	45.922	8.361	4.285	

表 12-5 暦年標準パターン間の t (標準化データ、再標準化なし)

t	1	2	3	4	5	6	7
1 A		1.629	0	0	20.151	0	0
2 D	1.629		9.750	0	16.278	0	0
3 E	0	9.750		7.159	14.312	0	9.492
4 F	0	0	7.159		10.033	3.126	27.872
5 KISO	20.151	16.278	14.312	10.033		12.234	28.142
6 UMEKI15	0	0	0	3.126	12.234		6.178
7 HOSOKU	0	0	9.492	27.872	28.142	6.178	

表 12-6 暦年標準パターン間の t (標準化データ、再標準化あり)

t	1	2	3	4	5	6	7
1 A		1.881	0	0	20.788	0	0
2 D	1.881		10.001	0	17.086	0	0
3 E	0	10.001		6.991	14.036	0	9.358
4 F	0	0	6.991		9.003	2.775	25.936
5 KISO	20.788	17.086	14.036	9.003		11.980	27.313
6 UMEKI15	0	0	0	2.775	11.980		5.519
7 HOSOKU	0	0	9.358	25.936	27.313	5.519	

13. 年代不確定データの照合

本章では表 2-8 の 8 点の年代未確定データについて、暦年標準パターンを用いて照合を行います。

暦年標準パターンには前章で考察した通り、標準化したもの（ファイル名"_std_average"）を使用します。データの開始年には照合の結果わかった値を入れています。

13.1 法隆寺五重塔心柱

法隆寺五重塔心柱について、図 13-1 に原データ、図 13-2 に標準化後のデータを示します。

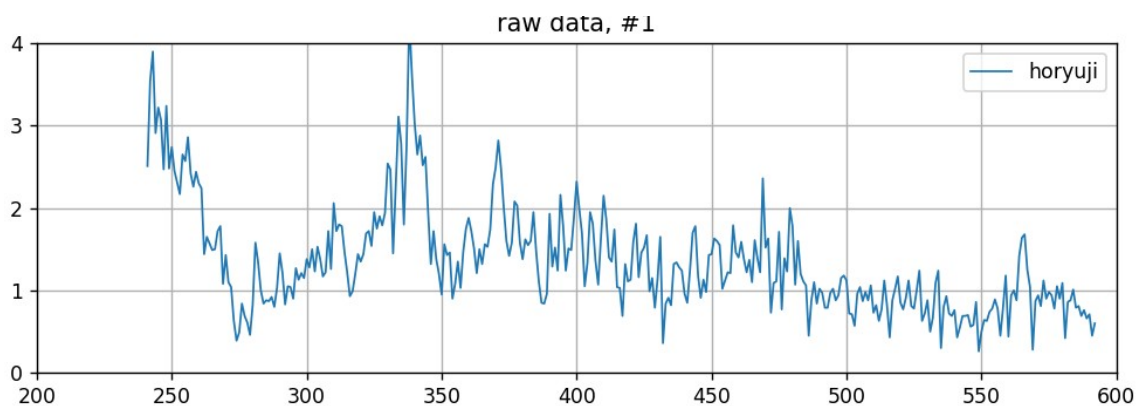


図 13-1 法隆寺五重塔心柱の原データ

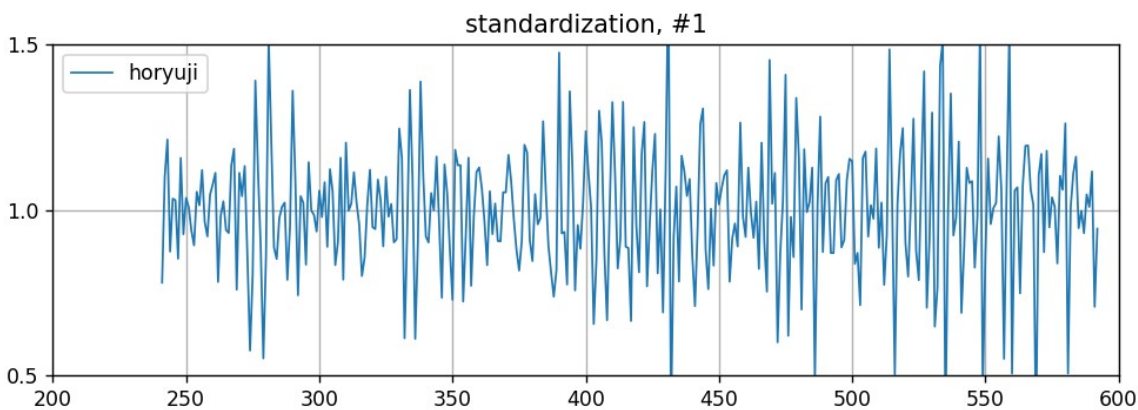
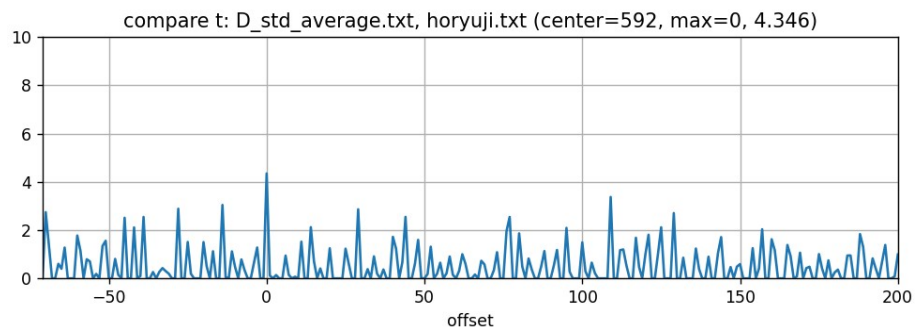


図 13-2 法隆寺五重塔心柱の標準化後データ

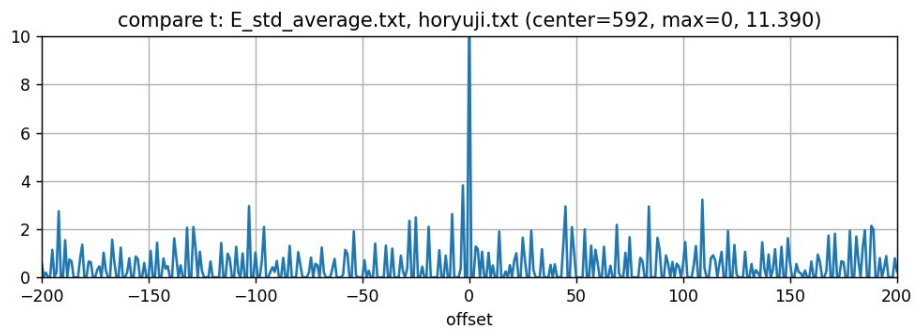
法隆寺五重塔心柱について、年代が重複している暦年標準パターン D、暦年標準パターン E、木曾ヒノキ暦年標準パターンおよび全データパターンと照合を行いました。

図 13-3 からすべてのケースで終了年 592 年としたときによく相関がとれています。t は順に 4.4, 11.4, 7.3, 10.9 です。(a) については図 2-2 から元データが 1 個なので精度がよくないと思われます。

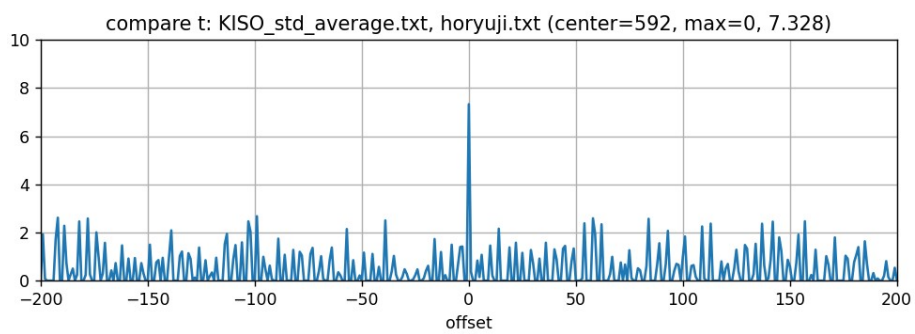
なお、本データは C タイプであり、伐採年は終了年の数十年後とされています[1]。



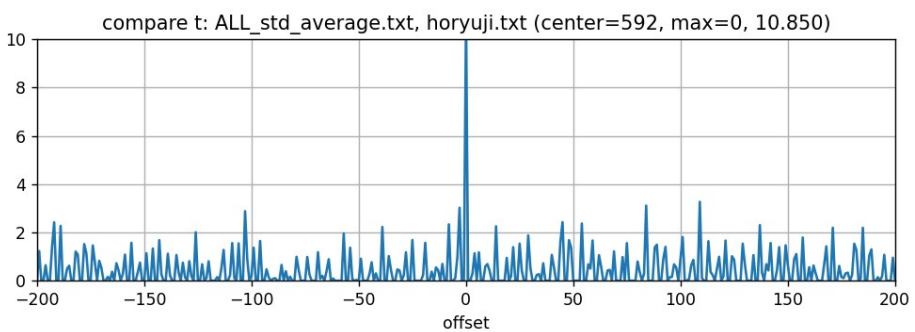
(a) 暦年標準パターンD 使用



(b) 暦年標準パターンE 使用



(c) 木曾ヒノキ暦年標準パターン使用



(d) 全データパターン使用

図 13-3 法隆寺五重塔心柱の照合結果

13.2 纏向勝山古墳板材

纏向勝山古墳板材について、図 13-4 に原データ、図 13-5 に標準化後のデータを示します。

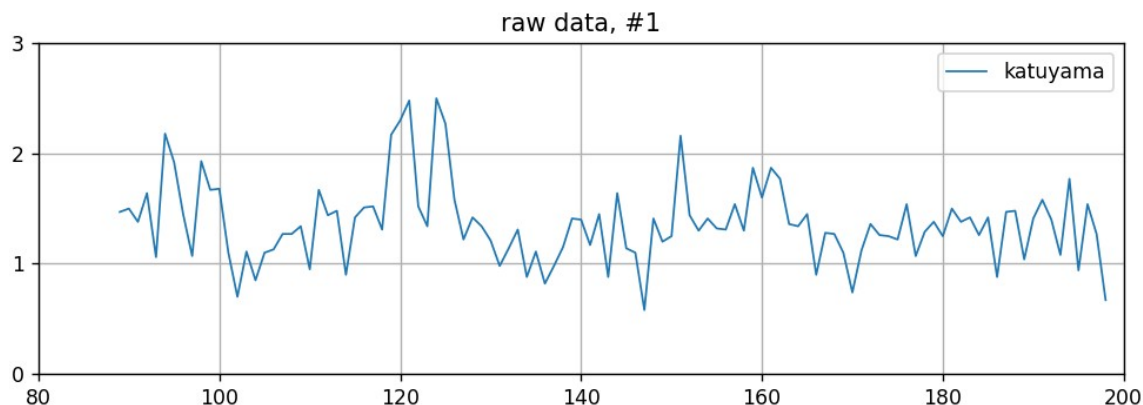


図 13-4 纏向勝山古墳板材の原データ

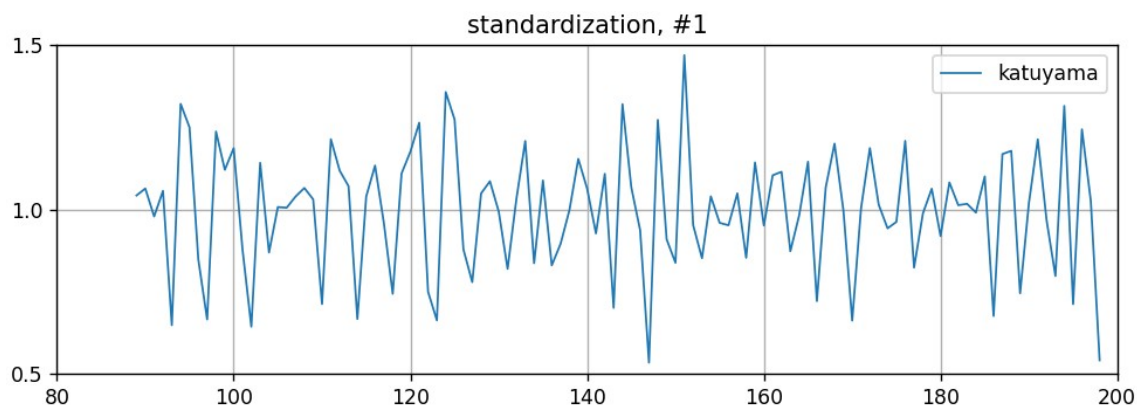
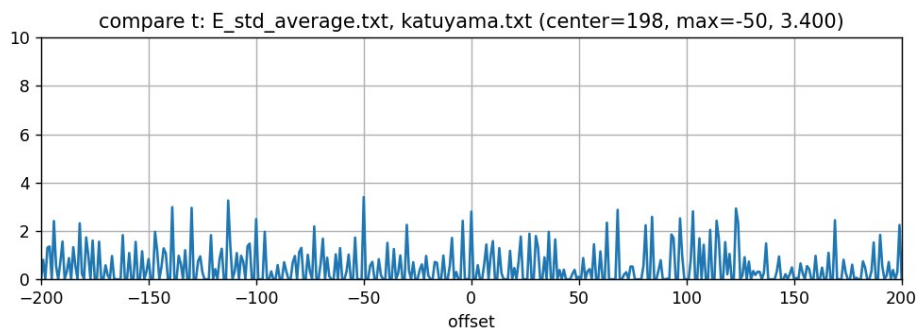


図 13-5 纏向勝山古墳板材の標準化後データ

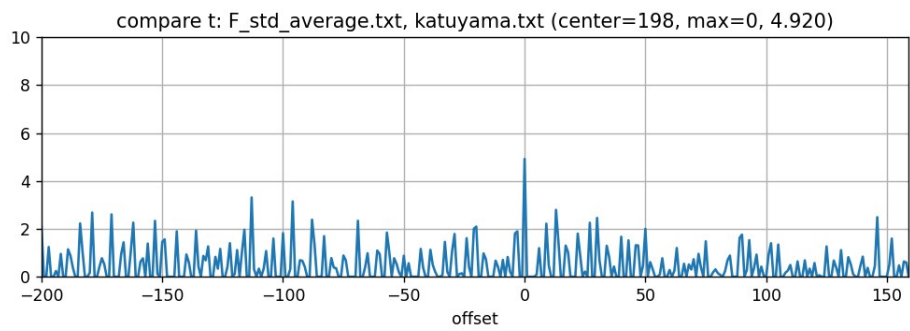
纏向勝山古墳板材について、年代が重複している暦年標準パターン E、暦年標準パターン F、木曾ヒノキ暦年標準、補足暦年標準パターンおよび全データパターンと照合を行いました。

図 13-6 から(b)(c)(d)(e)の 4 ケースで終了年 198 年にピークが見られます。t はそれぞれ 4.9, 5.6, 5.4, 5.8 です。t は高くありませんが 3 標準パターンと照合がとれたことは有意な結果を表しています。

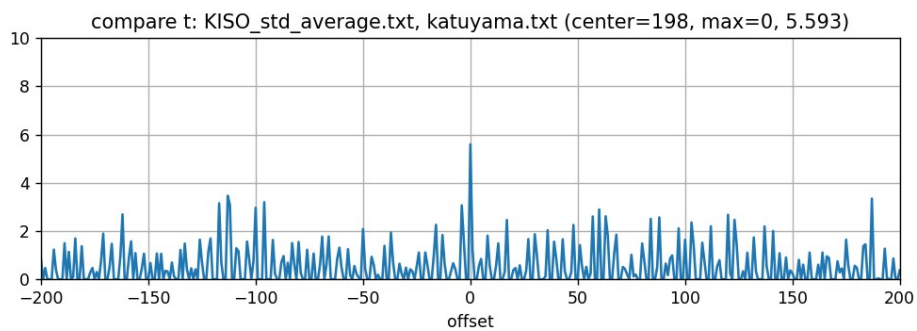
(a)については、図 2-2 の通り、暦年標準パターン E は 200 年以前のデータが少なく精度が悪いことが考えられます。



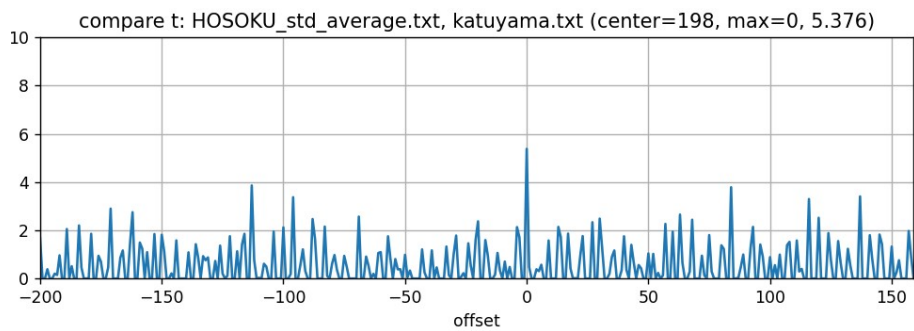
(a) 暦年標準パターン E 使用



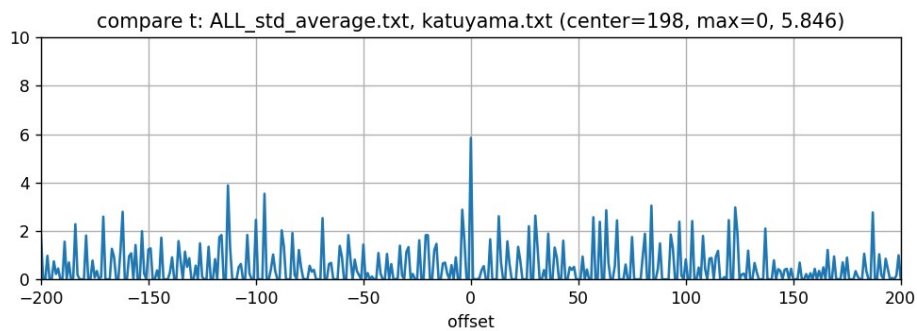
(b) 暦年標準パターンF 使用



(c) 木曽ヒノキ暦年標準パターン使用



(d) 補足暦年標準パターン使用



(e) 全データパターン使用

図 13-6 纏向勝山古墳板材の照合結果

13.3 纏向石塚古墳板材

纏向石塚古墳板材について、図 13-7 に原データ、図 13-8 に標準化後のデータを示します。

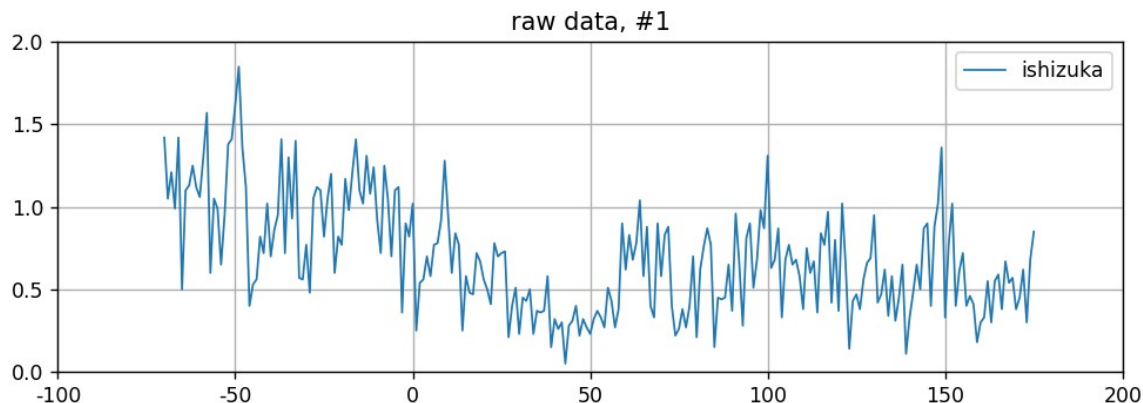


図 13-7 纏向石塚古墳板材の原データ

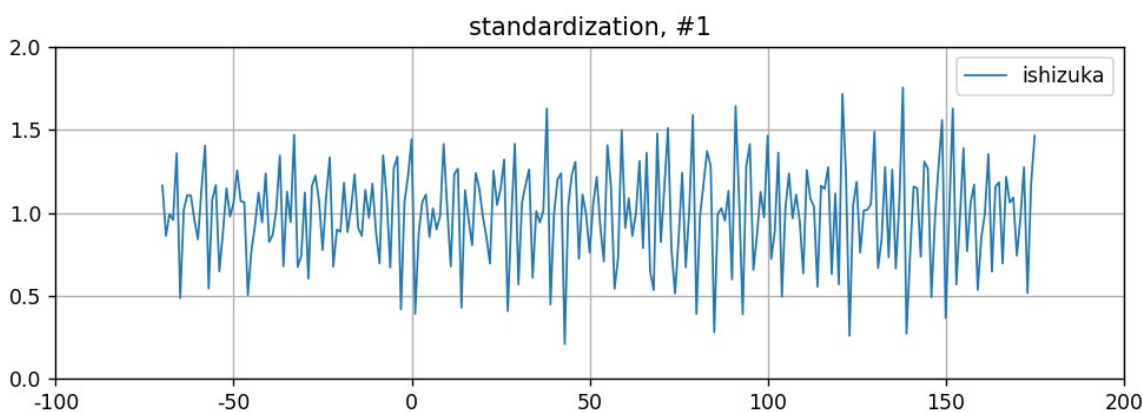
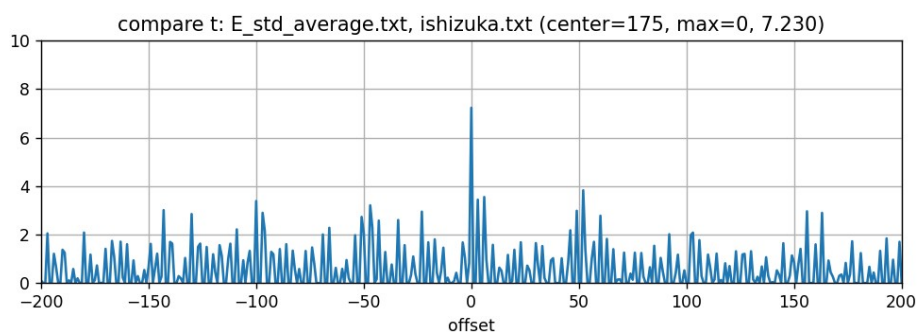


図 13-8 纏向石塚古墳板材の標準化後データ

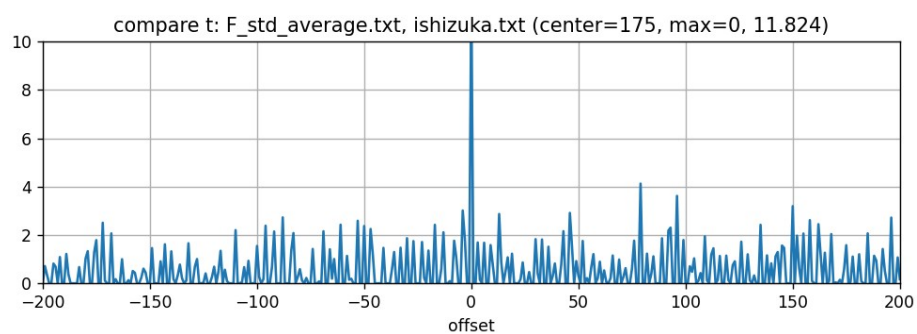
纏向石塚古墳板材について、年代が重複している暦年標準パターン E、暦年標準パターン F、木曾ヒノキ暦年標準パターン、補足暦年標準パターンおよび全データパターンと照合を行いました。

図 13-9 からすべてのケースで終了年 175 年に高いピークが見られます。t はそれぞれ 7.2, 11.8, 9.7, 12.4, 13.5 です。以上から終了年は 175 年で確定と思われます。

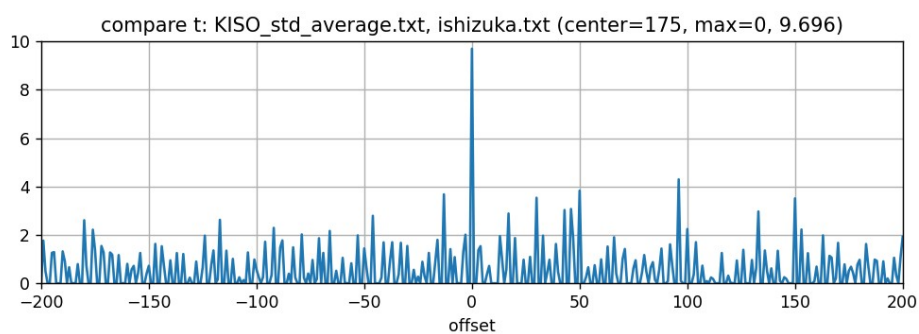
(a) については、図 2-2 の通り、暦年標準パターン E は 200 年以前のデータが少ないですが高い t が得られています。



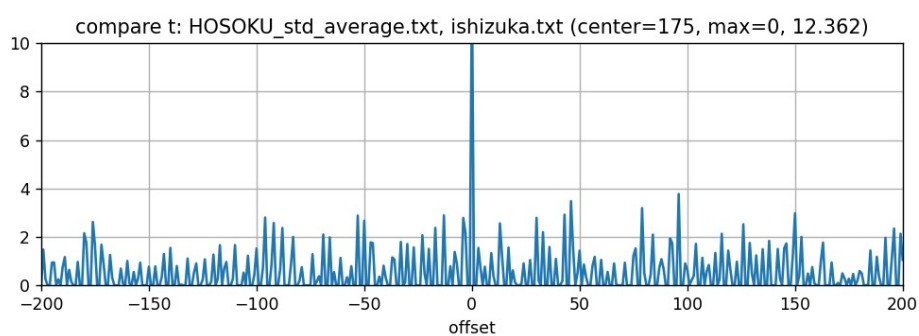
(a) 暦年標準パターン E 使用



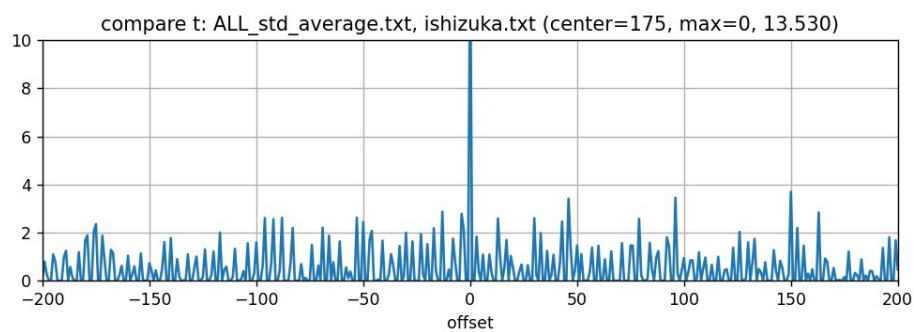
(b) 暦年標準パターン F 使用



(c) 木曽ヒノキ暦年標準パターン使用



(d) 補足暦年標準パターン使用



(e) 全データパターン使用

図 13-9 纏向石塚古墳板材の照合結果

13.4 池上曽根遺跡柱根

池上曽根遺跡柱根は5個のデータからなります。1997年の報告[6]では終了年はBC52～BC113（-51～-112年）とされていましたが、2024年の再調査で ikegami-2 以外は大幅に古くなりました[7]。ここでは修正後の年代を使用します。

図 13-10 に原データ、図 13-11 に標準化後のデータを示します。

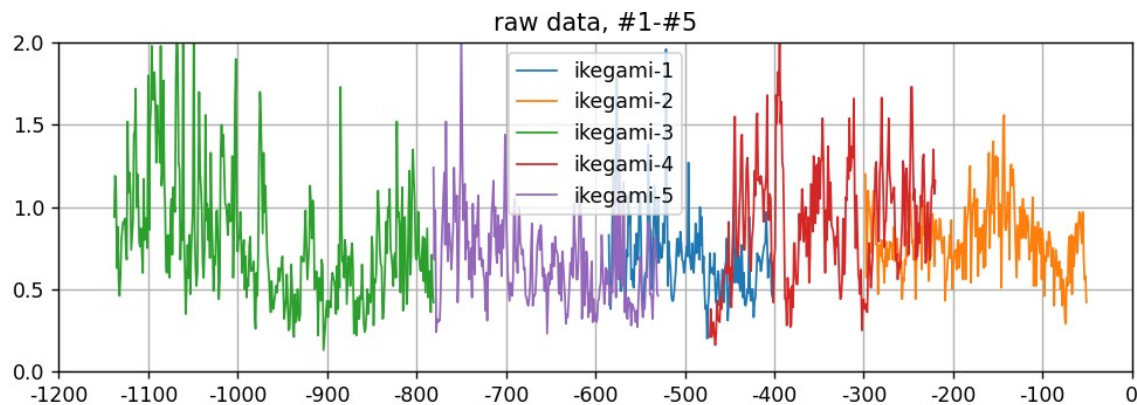


図 13-10 池上曽根遺跡柱根の原データ

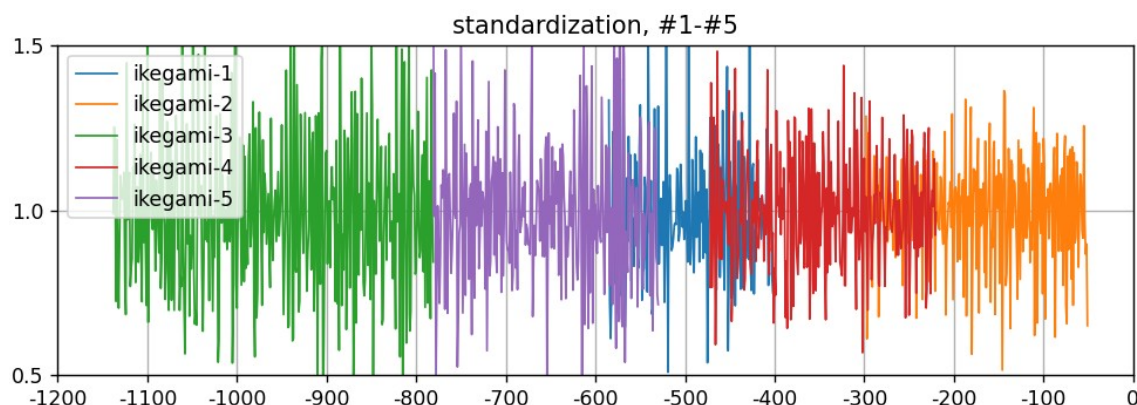


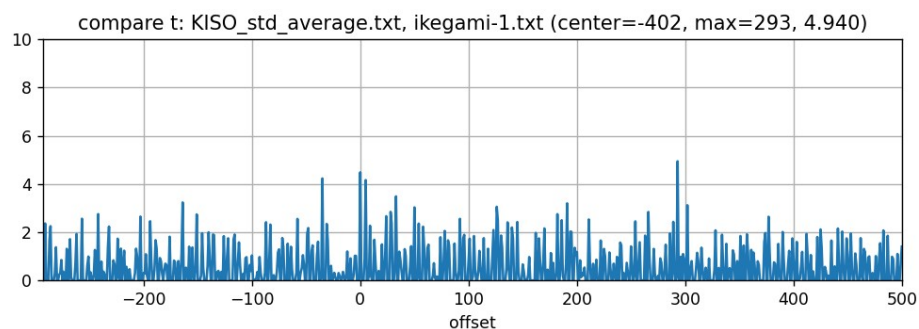
図 13-11 池上曽根遺跡柱根の標準化後データ

各データを年代の重複している標準パターンと照合した結果を以下に示します。

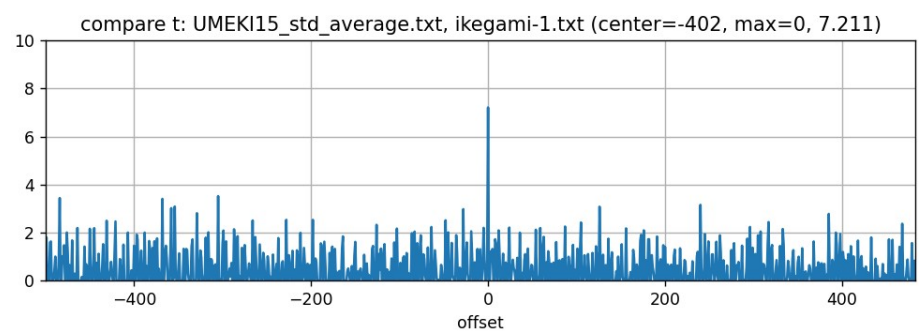
表 2-7 の通り、木曽ヒノキ暦年標準パターンと補足暦年標準パターンは一部のデータを共用しているために独立した検定とは言い難いことに注意してください。また、全データパターンは当然ながら他の標準パターンと独立していません。

図 13-12 に ikegami-1 を各標準パターンと照合した結果を示します。

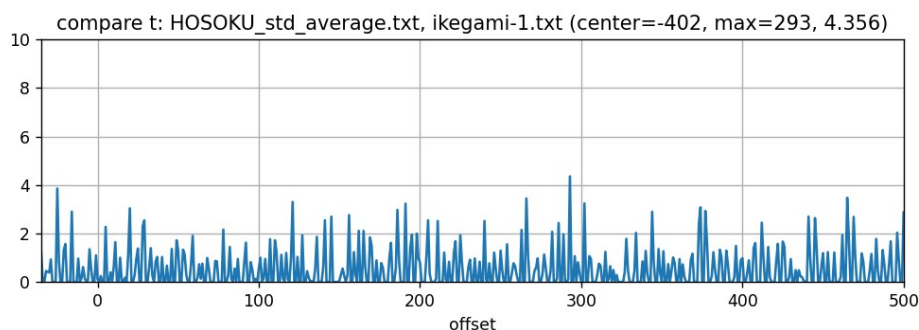
(b)(d)の仮説年 (offset=0) に顕著なピークが見られます (終了年-402 年)。(a)(c)には顕著なピークは見られません。



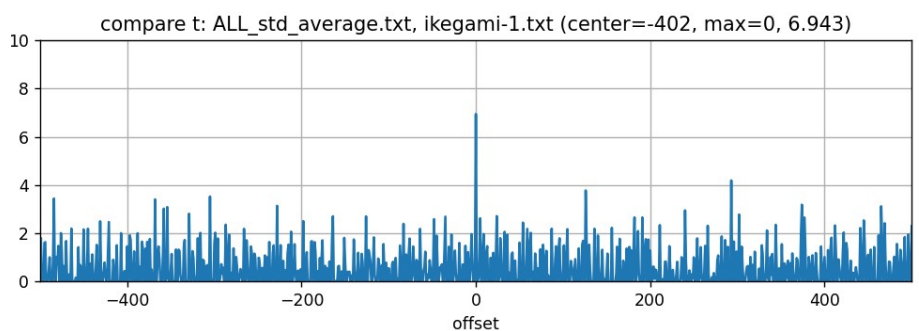
(a) 木曾ヒノキ暦年標準パターン



(b) 埋木 15 点年輪パターン



(c) 補足暦年標準パターン

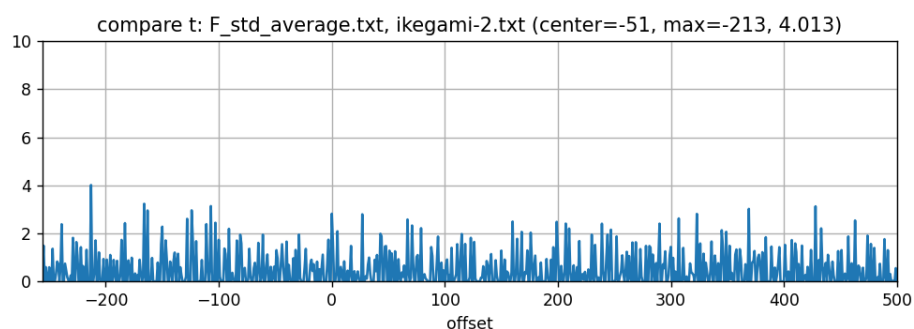


(d) 全データパターン

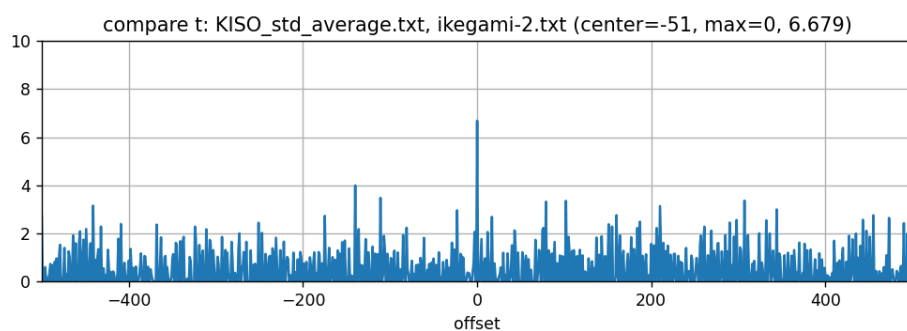
図 13-12 ikegami-1 データの照合結果

図 13-13 に ikegami-2 を各標準パターンと照合した結果を示します。

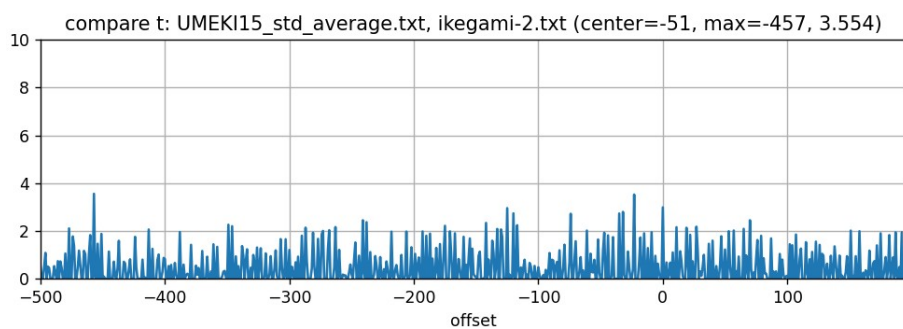
(b)(d)(e)の仮説年 (offset=0) に大きなピークが見られます。終了年-51 年は[6][7]と一致します。(a)(c) には顕著なピークは見られません。池上曽根遺跡柱根では本データのみ A タイプなので終了年=伐採年です。



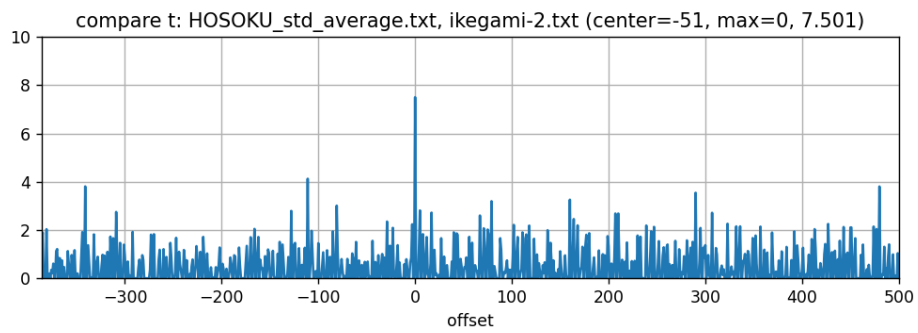
(a) 暦年標準パターン F



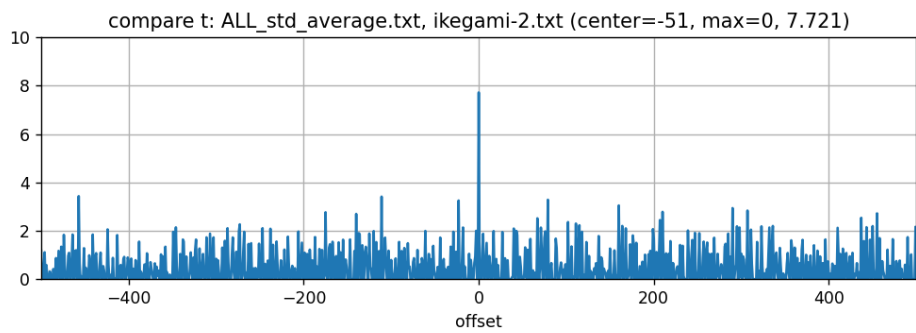
(b) 木曾ヒノキ暦年標準パターン



(c) 埋木 15 点年輪パターン



(d) 補足暦年標準パターン

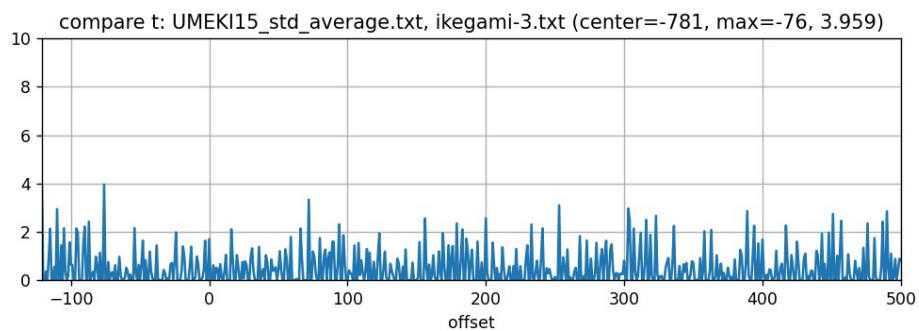


(e) 全データパターン

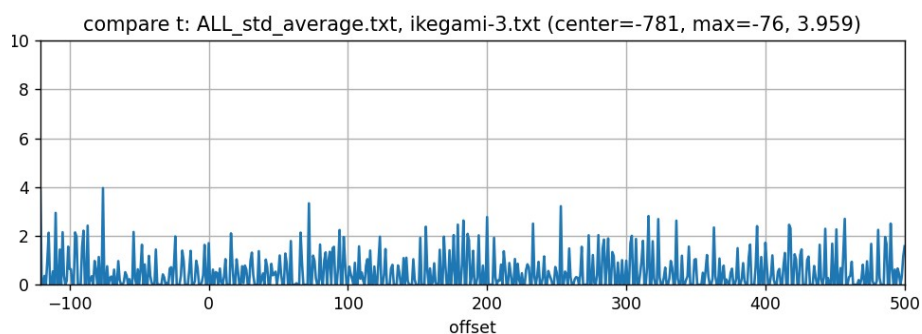
図 13-13 ikegami-2 データの照合結果

図 13-14 に ikegami-3 を各標準パターンと照合した結果を示します。

顕著なピークは見られませんが、76 年古いところに $t=4$ のピークが見られます。



(a) 埋木 15 点年輪パターン

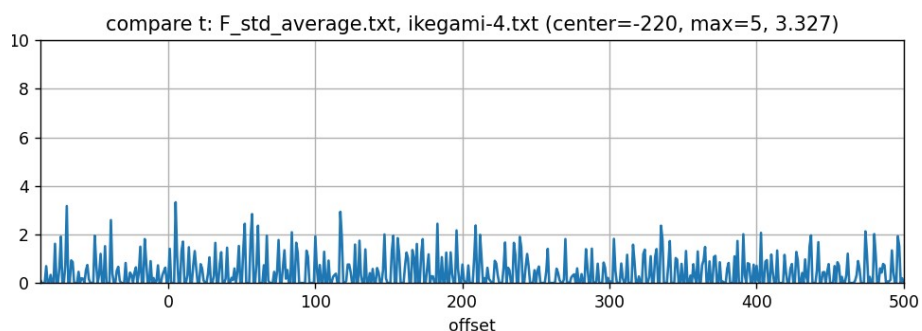


(b) 全データパターン

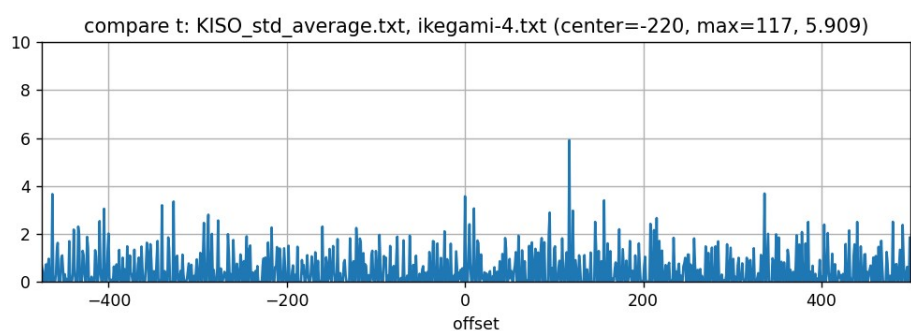
図 13-14 ikegami-3 データの照合結果

図 13-15 に ikegami-4 を各標準パターンと照合した結果を示します。

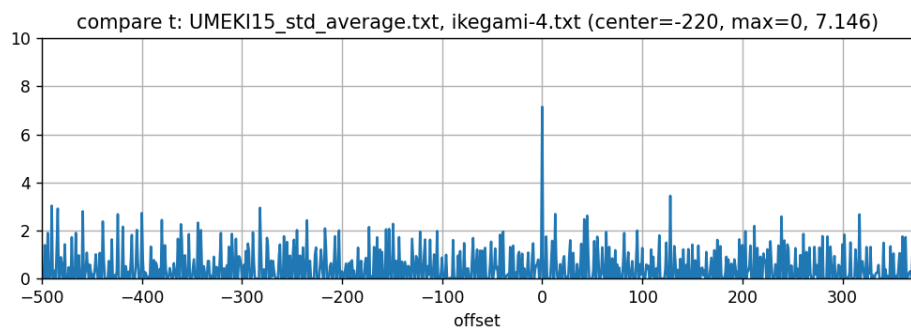
(c)(e)の仮説年 (offset=0) に大きなピークが見られます (終了年-220 年)。ただし、117 年新しいところにもピークが見られることは要注意です。



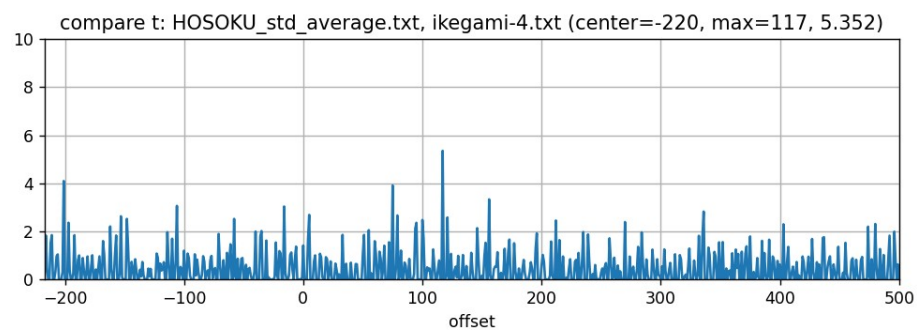
(a) 暦年標準パターン F



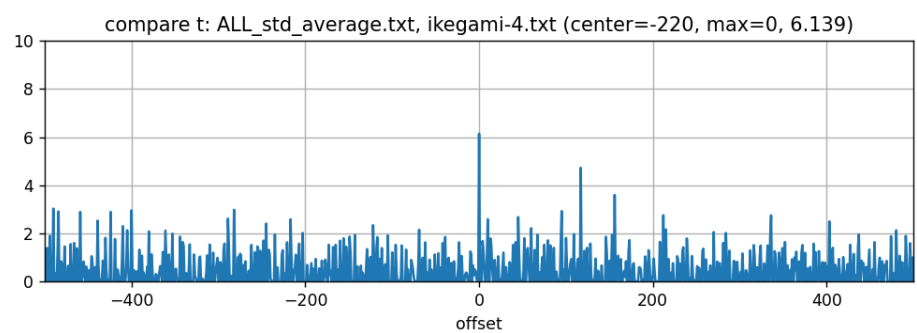
(b) 木曾ヒノキ暦年標準パターン



(c) 埋木 15 点年輪パターン



(d) 補足暦年標準パターン

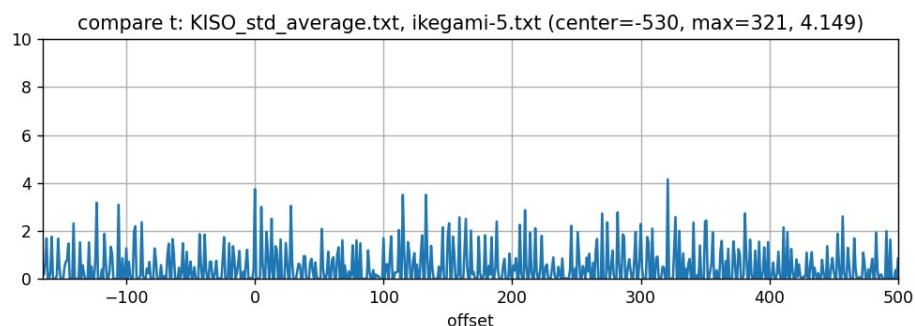


(e) 全データパターン

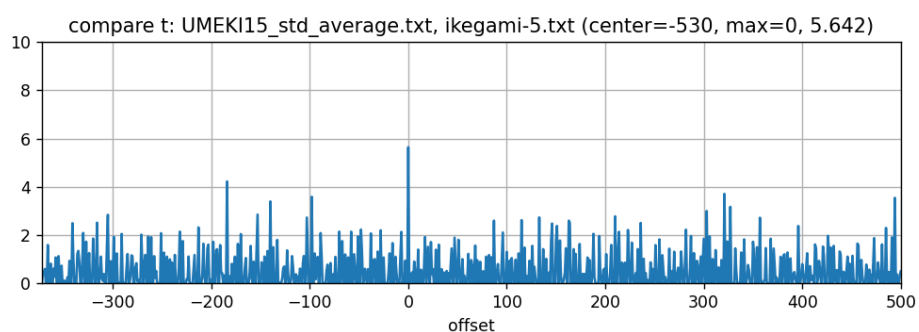
図 13-15 ikegami-4 データの照合結果

図 13-16 に ikegami-5 を各標準パターンと照合した結果を示します。

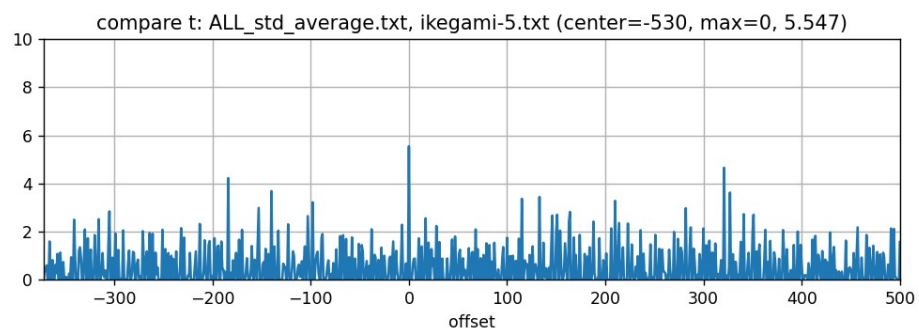
(b)(c)の仮説年 (offset=0) に大きなピークが見られます (終了年-530 年)。(a)には顕著なピークは見られません。



(a) 木曽ヒノキ暦年標準パターン



(b) 埋木 15 点年輪パターン



(c) 全データパターン

図 13-16 ikegami-5 データの照合結果

池上曾根遺跡柱根の照合結果をまとめた結果を表 13-1 に示します。表中の数値はtです。"- "は年代が重複していないため照合できないもの、"照合不可"は照合の結果顕著なピークが見られなかったものです。

ikegami-3 以外は年代が特定できた標準パターンがありますがt=5～8程度であり高くありません。年代が特定できない標準パターンが多数あります。

照合で顕著なピークが見られないことは、開始年を間違えているということではなく、テストデータまたは標準パターンのデータの質が悪い（測定誤差、データが少ない）ことを意味します。

表 13-1 池上曾根遺跡柱根の照合結果

データ名	F	KISO	UMEKI15	HOSOKU	ALL
ikegami-1	-	照合不可	7.211	照合不可	6.943
ikegami-2	照合不可	6.679	照合不可	7.501	7.721
ikegami-3	-	-	照合不可	-	照合不可
ikegami-4	照合不可	照合不可	7.146	照合不可	6.139
ikegami-5	-	照合不可	5.462	-	5.547

14. まとめ

奈良文化財研究所の公開した年輪データを解析する方法について述べました。

はじめに、年輪データを標準化する方法と相関係数 r と t 値の計算法について述べました。

次に、年輪データをいろいろな方法で図形出力する方法について述べました。年輪幅の年変化に加えて、散布図、 r/t マップ、 r/t ヒストグラム、照合などがあります。

次に、それぞれの暦年標準パターンのもととなった年輪データについて詳しく調べました。年輪データに明確な誤りはなく、暦年標準パターンはもととなった年輪データの単純平均により作成されたものと推測できることを示しました。

年輪データの持ついくつかの著しい特性を明らかにしました。

暦年標準パターンをもとに年代の不明な木材の年代を照合することができます。法隆寺五重塔心柱、纏向勝山古墳板材、纏向石塚古墳板材、池上曽根遺跡柱根の年代を調べました。

Python のソースコードとテキストファイルに変換した年輪データを公開しています。使用法については本文を参考にしてください。

文献

- [1] 奈良文化財研究所, 年輪に歴史を読む - 日本における古年輪学の成立 -, 奈良国立文化財研究所学報 第 48 冊, 1990. <https://sitereports.nabunken.go.jp/ja/16623>
- [2] 日本古代史ネットワーク, <https://nihonkodaishi.net/>
- [3] 桃井尊央, 樹木年輪年代学的手法による樹木の気候応答の解析, 東京農業大学博士論文, 2013.
- [4] NumPy, <https://numpy.org/>
- [5] Matplotlib, <https://matplotlib.org/>
- [6] 光谷拓実, 池上曽根遺跡の大型掘立柱建物の年輪年代, 奈良国立文化財研究所学報 1997-1, pp.4-5, 1997. <https://sitereports.nabunken.go.jp/ja/14858>
- [7] 国立歴史民俗博物館, 池上曽根遺跡の大型掘立柱建物 柱の年代再調査, 2024 年 7 月 1 日, <https://www.rekihaku.ac.jp/news/20240701.html>