

奈良文化財研究所公開の年輪データの解析

2025年8月7日

目次

1. まえがき	2
2. 年輪データ	2
2.1 暦年標準パターン A	2
2.2 その他の暦年標準パターン	2
2.3 年代未確定の年輪データ	2
3. 年輪データの解析	6
3.1 インストール	6
3.2 年輪データファイルの編集	6
3.3 データの標準化	7
3.4 相関係数	9
3.5 移動平均年数について	9
3.6 年輪データの種類	10
4. プログラムの実行法	11
4.1 開発環境と動作環境	11
4.2 プログラムの実行法	11
4.3 計算	11
4.4 図形出力	12
4.5 数値出力	17
5. 暦年標準パターン A の解析	19
5.1 A-1～A-3	19
5.2 A-4～A-7	20
5.3 照合テスト	26
6. その他の暦年標準パターン	28
7. 年代不確定データの照合	33
7.1 法隆寺五重塔心柱	33
7.2 纏向勝山古墳板材	35
7.3 纏向石塚古墳板材	37
7.4 池上曽根遺跡柱根	39
8. まとめ	45
文献	45

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。

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その時代のデータを総合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。

「ファイル名」は便宜上つけたものであり元データと異なります。「開始年」と「終了年」は年輪を開始した年と終了した年です。西暦年を使用します。以下の関係があります。

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

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。

2.1 暦年標準パターン A

表2-1に暦年標準パターンのデータファイルの一覧を示します。ファイルAが暦年標準パターンAです。1009年から1984年までの木曽ヒノキのデータです。A-1～A-3は各1本の巨木、A-4～A-7はそれぞれ17,13,15,15本のデータを統計的に処理して平均をとったものです。

2.2 その他の暦年標準パターン

表2-2にその他の暦年標準パターンの一覧を示します。暦年標準パターンD→E→Fの順に古くなります。木曽ヒノキ暦年標準パターンは最近の試料を用いて新しく作ったもので広い期間をカバーしています。UMEKI15とHOSOKUは弥生時代向けに使用されます。

2.3 年代未確定の年輪データ

表2-3に年代未確定の年輪データファイルを示します。考古学の研究に使用されます。

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	資料名称	元ファイル名	年輪数	開始年	終了年	備考
A.txt	暦年標準パターン A	008/KICHA63M.p4p	976	1009	1984	
A-1.txt	NAGOYA-1000-1+2	008/NA1000.p4p	925	1009	1933	名古屋営林支局保管
A-2.txt	GIFU-T27-A1(1+2)	023/60.p4p	839	1146	1984	付知営林署伐採
A-3.txt	KISO-YAMA-A1+A2	008/KIYAMA12.p4p	802	1118	1919	山沢金五郎氏公開
A-4.txt	KISO-AGEMATSU-17M	019/22.p4p	297	1685	1981	長野県上松産 17 点平均
A-4-01.txt	KISO HINOKI NO1	019/22/66.p4p	236	1746	1981	1
A-4-02.txt	KISO HINOKI NO2	019/22/67.p4p	290	1692	1981	2
A-4-03.txt	KISO HINOKI NO4	019/22/68.p4p	296	1686	1981	3
A-4-04.txt	KISO HINOKI NO5	019/22/69.p4p	264	1718	1981	4
A-4-05.txt	KISO HINOKI NO7	019/22/70.p4p	253	1729	1981	5
A-4-06.txt	KISO HINOKI NO8	019/22/33.p4p	297	1685	1981	6
A-4-07.txt	KISO HINOKI NO9	019/22/71.p4p	241	1741	1981	7
A-4-08.txt	KISO HINOKI NO10	019/22/72.p4p	256	1726	1981	8
A-4-09.txt	KISO HINOKI NO12	019/22/73.p4p	267	1715	1981	9
A-4-10.txt	KISO HINOKI NO13	019/22/74.p4p	256	1726	1981	10
A-4-11.txt	KISO HINOKI NO14	019/22/75.p4p	269	1713	1981	11
A-4-12.txt	KISO HINOKI NO15	019/22/35.p4p	280	1702	1981	12
A-4-13.txt	KISO HINOKI NO16	019/22/76.p4p	258	1724	1981	13
A-4-14.txt	KISO HINOKI NO17	019/22/77.p4p	277	1705	1981	14
A-4-15.txt	KISO HINOKI NO18	019/22/78.p4p	284	1698	1981	15
A-4-16.txt	KISO HINOKI NO19	019/22/79.p4p	257	1725	1981	16
A-4-17.txt	KISO HINOKI NO20	019/22/80.p4p	257	1725	1981	17
A-5.txt	KISO M13MC	019/64C.p4p	321	1664	1984	長野県三浦産 13 点平均
A-5-01.txt	KISO-M1-A1+A2	019/64C/46.p4p	319	1664	1982	1
A-5-02.txt	KISO-ミウラ-NO3-A1+A2	019/64C/48.p4p	298	1685	1982	2
A-5-03.txt	KISO-M6-A1+A2	019/64C/50.p4p	260	1723	1982	3
A-5-04.txt	KISO-ミウラ-NO7-A1+A2	019/64C/51.p4p	282	1701	1982	4
A-5-05.txt	KISO-M9-A1+A2	019/64C/53.p4p	285	1698	1982	5
A-5-06.txt	KISO-ミウラ-NO10-A1+A2	019/64C/54.p4p	292	1691	1982	6
A-5-07.txt	KISO-ミウラ-NO11-A1+A2	019/64C/55.p4p	289	1694	1982	7
A-5-08.txt	KISO-M13-A1+A2	019/64C/56.p4p	302	1683	1984	8
A-5-09.txt	KISO-M14-A1+A2	019/64C/57.p4p	245	1739	1983	9
A-5-10.txt	KISO-M15-3M	019/64C/58.p4p	258	1727	1984	10
A-5-11.txt	KISO-M16-2M	019/64C/59.p4p	256	1729	1984	11
A-5-12.txt	KISO-M17-2M	019/64C/60.p4p	248	1737	1984	12
A-5-13.txt	KISO-M19-2M	019/64C/62.p4p	211	1774	1984	13
A-6.txt	KISO-T15M	023/109.p4p	478	1507	1984	岐阜県付知産 15 点平均
A-6-01.txt	GIFU-NO1-A1+B1-CUTTED-YEAR-1983-477-RINGS	023/109/44.p4p	477	1507	1983	1
A-6-02.txt	GIFU-NO2-A1+A2-CUTTED-YEAR-1983-319-RINGS	023/109/45.p4p	319	1665	1983	2
A-6-03.txt	GIFU-T3-A1+A2+B1	023/109/46.p4p	359	1625	1983	3
A-6-04.txt	GIFU-T4-A1+A2+B1	023/109/47.p4p	213	1771	1983	4
A-6-05.txt	GIFU-T5-A1+A2-237-1983	023/109/48.p4p	237	1747	1983	5
A-6-06.txt	GIFU-T6-A1+A2-194-1983	023/109/49.p4p	194	1790	1983	6
A-6-07.txt	GIFU-T7-A1+A2-250-1983	023/109/50.p4p	250	1734	1983	7
A-6-08.txt	GIFU-T8-A1+A2-230-1983	023/109/51.p4p	230	1754	1983	8

A-6-09.txt	GIFU-T9-A1+A2-244-1983	023/109/52.p4p	244	1740	1983	9
A-6-10.txt	GIFU-T10-A1+A2-215-1983	023/109/53.p4p	215	1769	1983	10
A-6-11.txt	GIFU-T12-A1+A2-270-1983	023/109/54.p4p	270	1714	1983	11
A-6-12.txt	GIFU-T13-A1+A2	023/109/55.p4p	245	1739	1983	12
A-6-13.txt	T-15-2M	023/109/41.p4p	253	1732	1984	13
A-6-14.txt	T-17-2M	023/109/42.p4p	287	1698	1984	14
A-6-15.txt	T-22-2M	023/109/43.p4p	258	1727	1984	15
A-7.txt	KISO-O150-15M	023/38.p4p	303	1682	1984	岐阜県小坂産 15 点平均
A-7-01.txt	OSAKA-150-3-2M	023/38/13.p4p	212	1773	1984	1
A-7-02.txt	OSAKA-150-4-2M	023/38/14.p4p	216	1769	1984	2
A-7-03.txt	OSAKA-150-5-2M	023/38/15.p4p	221	1764	1984	3
A-7-04.txt	OSAKA-150-6-2M	023/38/16.p4p	228	1757	1984	4
A-7-05.txt	OSAKA-150-7-2M	023/38/17.p4p	250	1735	1984	5
A-7-06.txt	OSAKA-150-8-2M	023/38/18.p4p	238	1747	1984	6
A-7-07.txt	OSAKA-150-9-2M	023/38/19.p4p	229	1756	1984	7
A-7-08.txt	OSAKA-150-10-2M	023/38/1.p4p	247	1738	1984	8
A-7-09.txt	OSAKA-150-12-2M	023/38/4.p4p	245	1740	1984	9
A-7-10.txt	OSAKA-150-13-2M	023/38/8.p4p	232	1753	1984	10
A-7-11.txt	OSAKA-150-14-2M	023/38/9.p4p	278	1707	1984	11
A-7-12.txt	OSAKA-150-15-2M	023/38/10.p4p	251	1734	1984	12
A-7-13.txt	OSAKA-150-16-2M	023/38/11.p4p	263	1722	1984	13
A-7-14.txt	OSAKA-150-17-2M	023/38/21.p4p	303	1682	1984	14
A-7-15.txt	OSAKA-150-18-3M	023/38/22.p4p	219	1766	1984	15

表 2-2 その他の暦年標準パターン一覧

ファイル名	資料名称	元ファイル名	年輪数	開始年	終了年
D.txt	暦年標準パターン D	030/TK22M.p4p	811	512	1322
E.txt	暦年標準パターン E	033/36A.p4p	875	-36	838
F.txt	暦年標準パターン F	049/17A.p4p	574	-316	257
KISO.txt	木曽ヒノキ暦年標準パターン	117/KISOCHA43M.p4p	2710	-704	2005
UMEKI15.txt	埋木 15 点年輪パターン	049/17C.p4p	819	-911	-93
HOSOKU.txt	補足暦年標準パターン	049/17B.p4p	704	-446	257

表 2-3 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	元ファイル名	年輪数	開始年	終了年	備考
horyuji.txt	法隆寺五重塔心柱 A+A1	130/011-011.p4p	352	241	592	法隆寺五重塔心柱
katuyama.txt	勝山池第 4 次 No132	130/014-001.p4p	110	89	198	纏向勝山古墳板材
ishizuka.txt	MAKIMUKU-CHA1	035/54.p4p	246	-70	175	纏向石塚古墳板材
ikegami-1.txt	IKEGAMI-CHA4A	062/121.p4p	184	-585	-402	池上曾根遺跡柱根 No.4

ikegami-2.txt	IKEGAMI-12+12A6	062/119.p4p	248	-298	-51	池上曾根遺跡柱根 No.12
ikegami-3.txt	IKEGAMI-CHA16A	062/110.p4p	358	-1138	-781	池上曾根遺跡柱根 No.16
ikegami-4.txt	IKEGAMI-CHA17A1+A2	062/120.p4p	253	-472	-220	池上曾根遺跡柱根 No.17
ikegami-5.txt	IKEGAMI-CHA2A+B	062/123.p4p	252	-781	-530	池上曾根遺跡柱根 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。

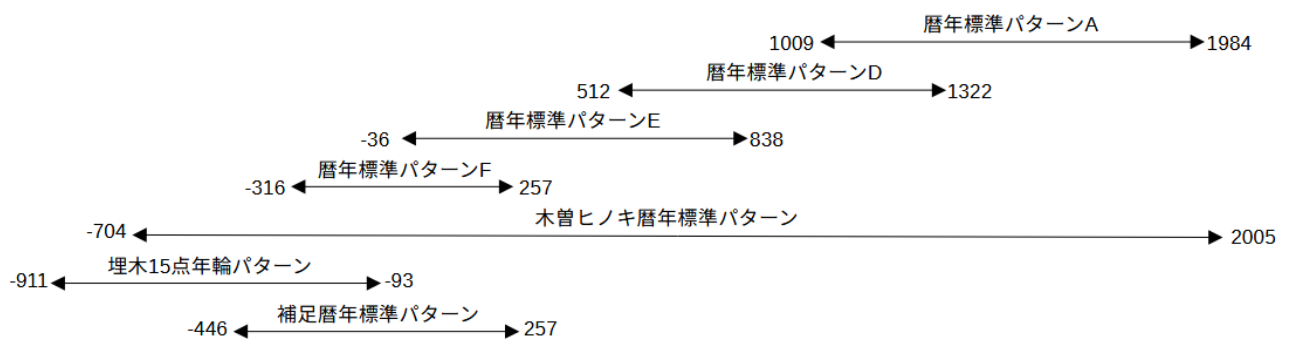


図 2-1 暦年標準パターンの開始年と終了年

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
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

（3.1 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: 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す
- ・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=（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を使用します。

移動平均法では各年の年輪幅を $x(i)$ としたとき以下の式で $x'(i)$ に変換します。

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

$$x'(i) = \frac{x(i)}{z(i)}$$

式(3-1)は5年の場合ですが3年や7年も同様です。

図3-2に移動平均年数を3,5,7年と変えたときの $z(i)$ を示します。なお1年は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年移動平均後の $x'(i)$ を示します。移動平均後の年輪データは1の近傍の無次元量です。図から移動平均法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。移動平均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。

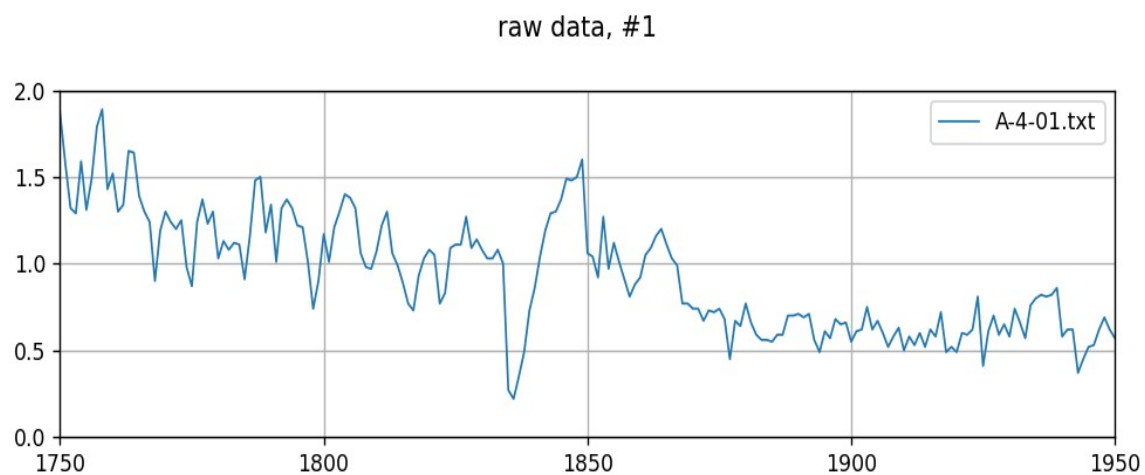


図 3-1 元データの年輪幅変化（単位 mm）

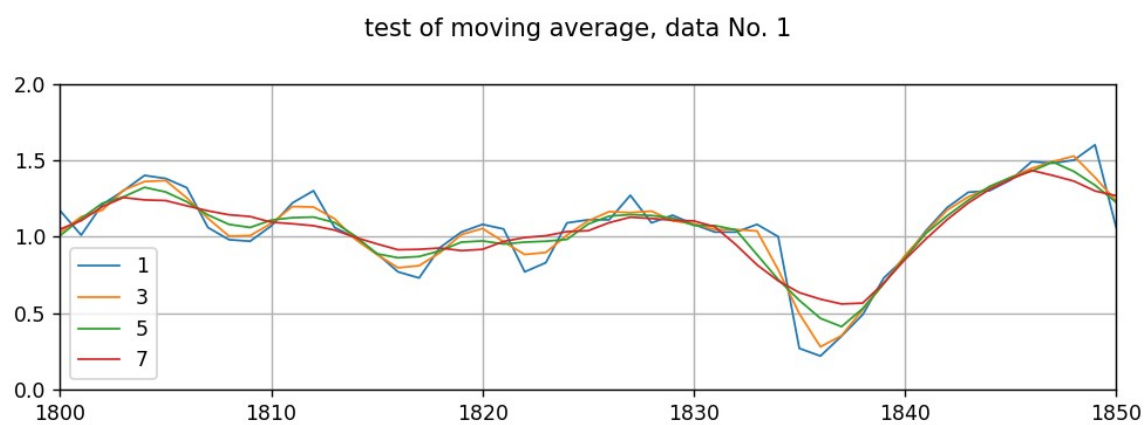


図 3-2 移動平均後の $z(i)$

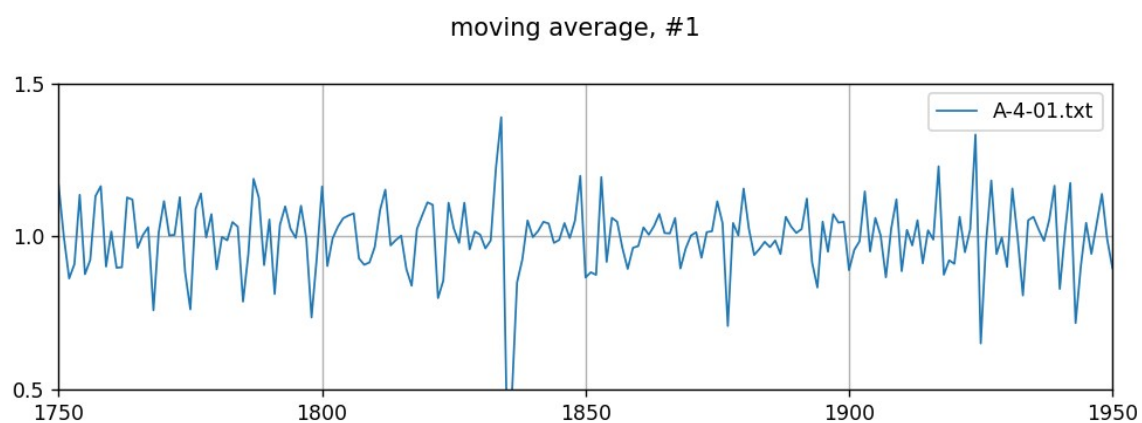


図 3-3 5 年移動平均後の $x'(i)$

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。

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

二つの年輪データの開始年と終了年が異なる場合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。

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

なお、[1]では式(3-3)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 でも大きな t になります。

[1]では $N>60$ 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。

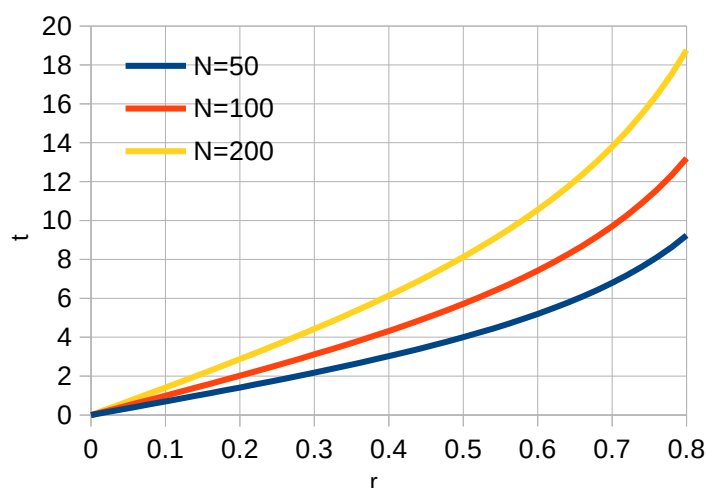


図3-4 r と t の関係

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表 3-1 に示します。

これから移動平均年数が小さいほど r と t が大きいことがわかります。しかし、この値が大きいほど年輪年代法に適しているどうかは不明なので、ここでは[1]に合わせて 5 年とします。

表 3-1 移動平均年数と r と t の平均の関係（データ数=60）

移動平均年数	r の平均	t の平均
3	0.350	5.978
5	0.314	5.294
7	0.297	4.973
9	0.284	4.753

3.6 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

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）

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。

（注 2）

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 3）

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。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8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 = (10, 4)         # 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 = 'moving average' # ウィンドウタイトル
    figsize = (10, 4)          # 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) 移動平均年数テスト(3/5/7)
if 0:
    figtitle = 'test of moving average' # ウィンドウタイトル
    figsize = (10, 4)                  # ウィンドウサイズ(inch)
    itest = 0;                          # テストデータ番号
    year0 = 1800                         # 開始年
    year1 = 1900                         # 終了年
    xdiv = 50                            # 横軸分割量
    ymin = 0.0                           # 縦軸最小
    ymax = 2.0                           # 縦軸最大
    ydiv = 4                             # 縦軸分割数
    mdiv = True                          # 割り算するか(通常 True)
    lmalist = [3, 5, 7]                  # 移動平均年数リスト

# (4) 移動平均の平均
if 0:
```

```

figtitle = 'average of moving average' # ウィンドウタイトル
figsize = (10, 4) # 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

# (5) 散布図
if 0:
    figtitle = 'scatter' # ウィンドウタイトル
    figsize = (10, 5) # 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
    fdiv = 2 # 軸分割数
    marker = 3 # マーカーサイズ

# (6) r/t マップ
if 0:
    figtitle = 'r/t' # ウィンドウタイトル
    figsize = (10, 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

# (7) ヒストグラム
if 0:
    figtitle = 'histogram r/t' # ウィンドウタイトル
    figsize = (10, 4) # 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

# (8) 照合, 照合したときのみ有効
if 0:
    figtitle = 'compare' # ウィンドウタイトル
    figsize = (10, 4) # 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) 移動平均年数テスト

移動平均をとるときの年数をテストした結果です。通常は使用しません。

(4) 移動平均の平均

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。

(5) 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。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。

(6) r/t マップ

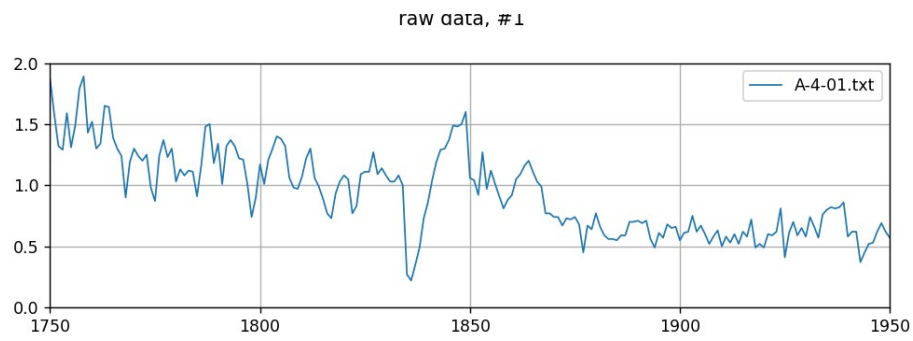
2個以上のデータについて全組み合わせの r と t の等高線を表示したものです。赤いほど相関関係が高いことを表します。対角線について対称です。対角線は意味がないので青で表示しています。図ではデータ番号が0から始まることに注意してください。上にデータ数と対角線を除いた平均値が表示されます。基本的に標準化後のデータを使用します。

(7) ヒストグラム

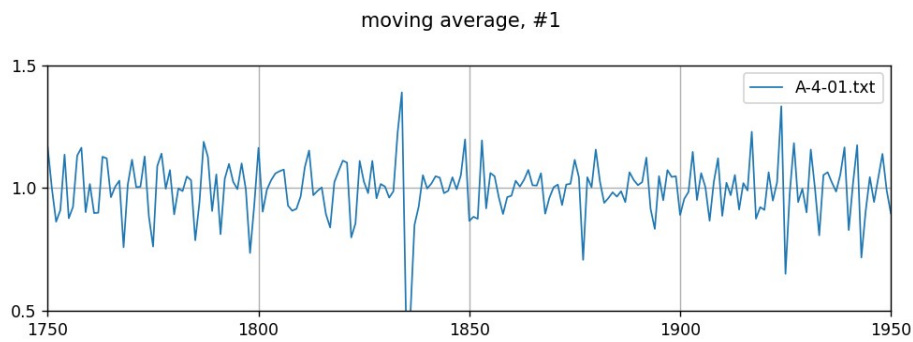
2個以上のデータについて全組み合わせの r と t のヒストグラムです。データ数を n とすると標本数 $N=n(n-1)/2$ となります。上にデータ数と標本数が表示されます。基本的に標準化後のデータを使用します。

(8) 照合

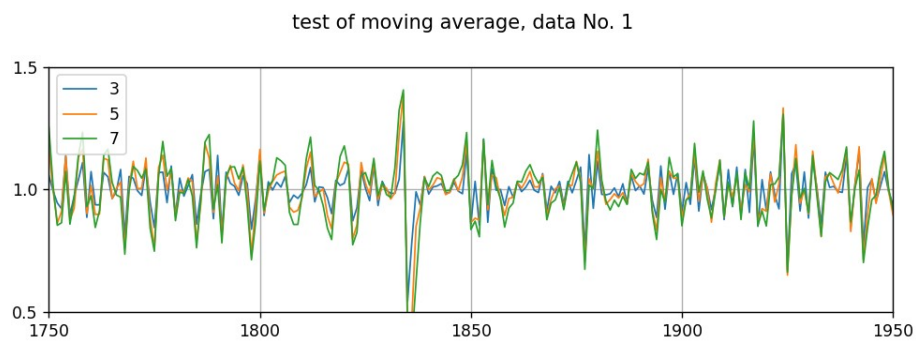
標準パターンを参考にして開始年がわからないテストデータの開始年を調べることを"照合"と呼びます[1]。横軸はテストデータの開始年を前後させた量、縦軸はそのときの t です。テストデータの開始年（第1行の第2データ）には適当な値を入力しておいてください。結果にピークが見られたらテストデータの開始年がわかります。上に、標準パターンファイル名、テストデータファイル名、テストデータ終了年、 t 最大年の変動量、 t 最大値が表示されます。基本的に標準化後のデータを使用します。



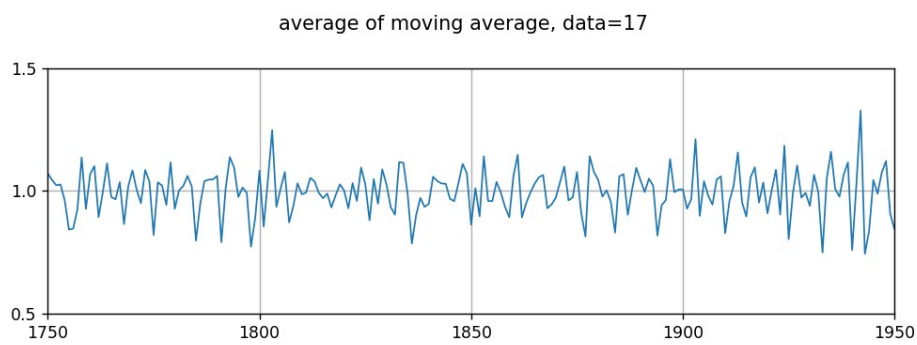
(1) 原データ



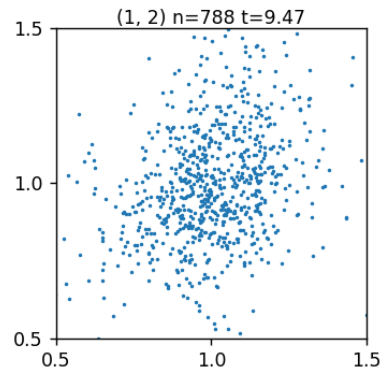
(2) 標準化



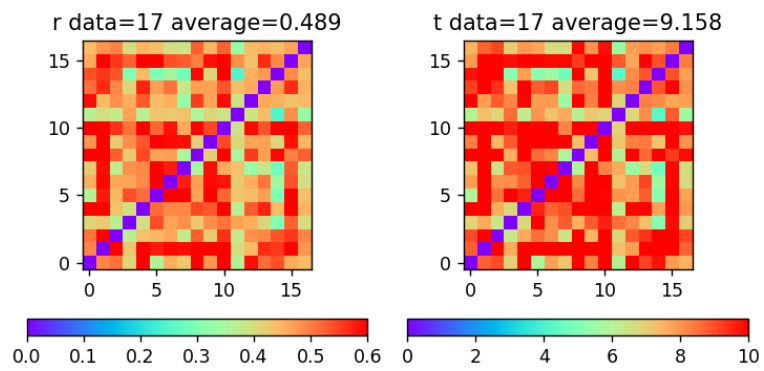
(3) 移動平均年数テスト



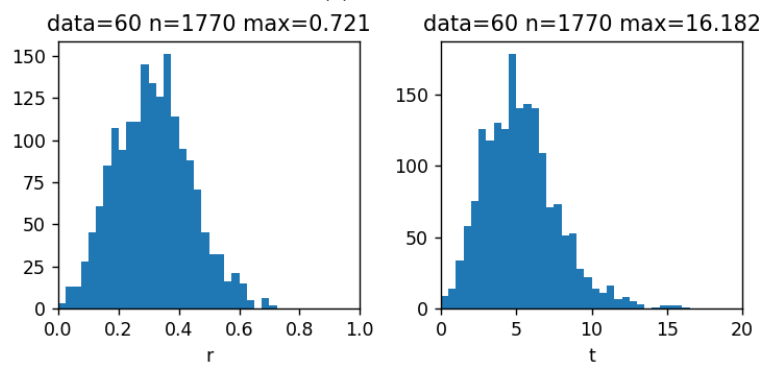
(4) 移動平均の平均



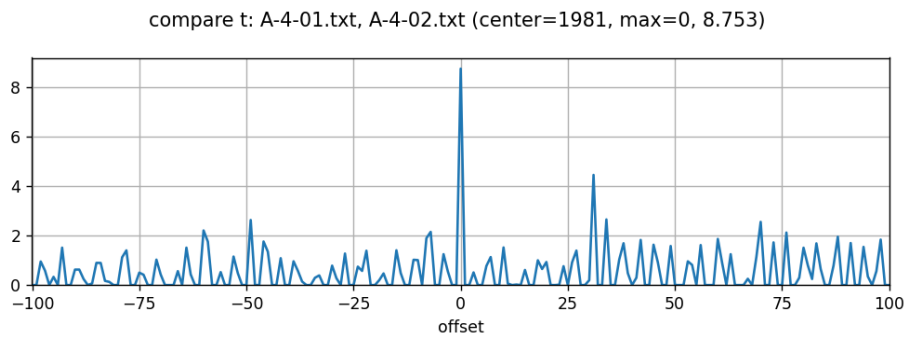
(5) 散布図



(6) r/t マップ



(7) ヒストグラム



(8) 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。計算結果の一部がテキストファイルに数値出力されるので、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) 移動平均の平均
if 1:
    fn = 'ma_average.txt' # ファイル名

# (3) r/t 行列, 右上三角
if 1:
    fn = 'rt.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。

(2) 移動平均の平均

```
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 行列

	2	3
1	0.497	0.509
2		0.617
1	8.753	9.050
2		13.297

第1行はデータ番号（2以降）です。

第2行以下はr行列値とt行列値です。右上三角成分（対角線除く）のみ表示されます。

(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。

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。

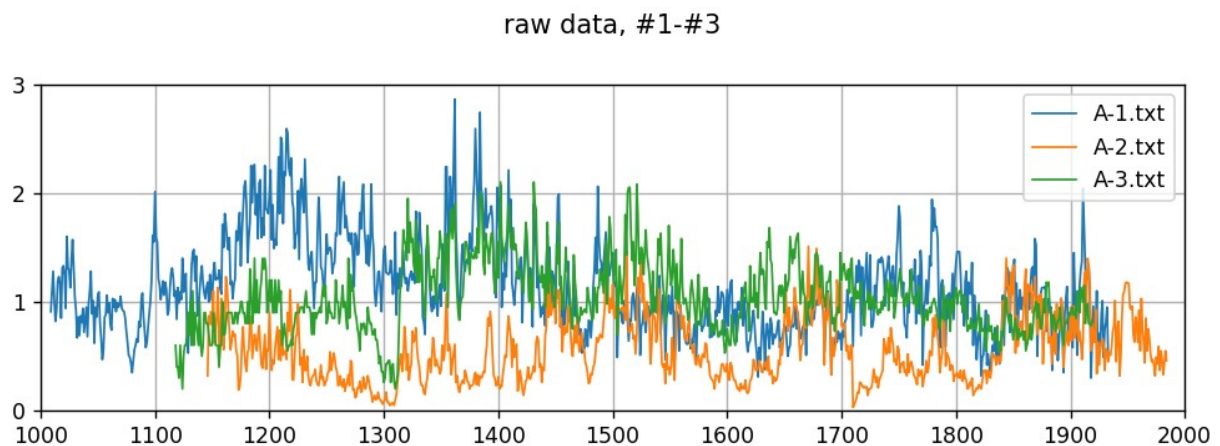


図 5-1 A-1,A-2,A-3 の原データ

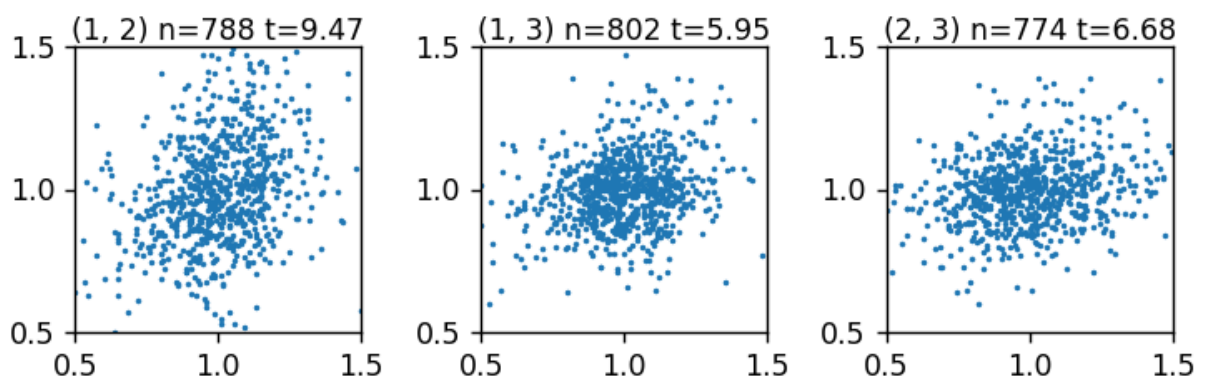
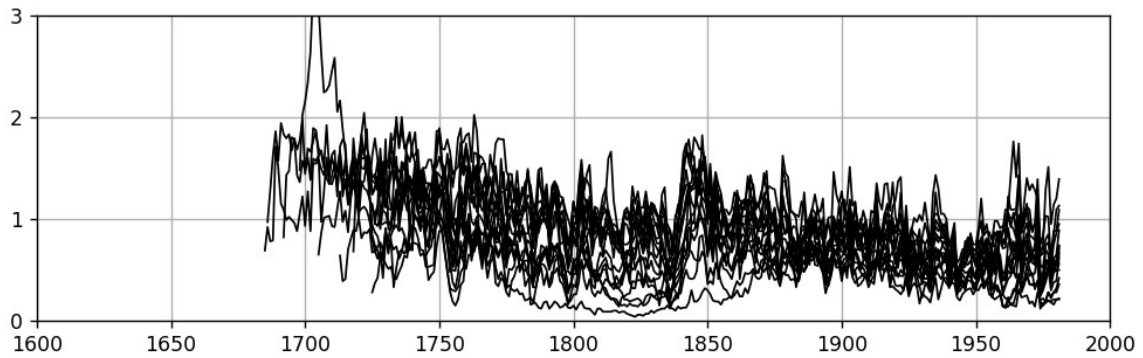


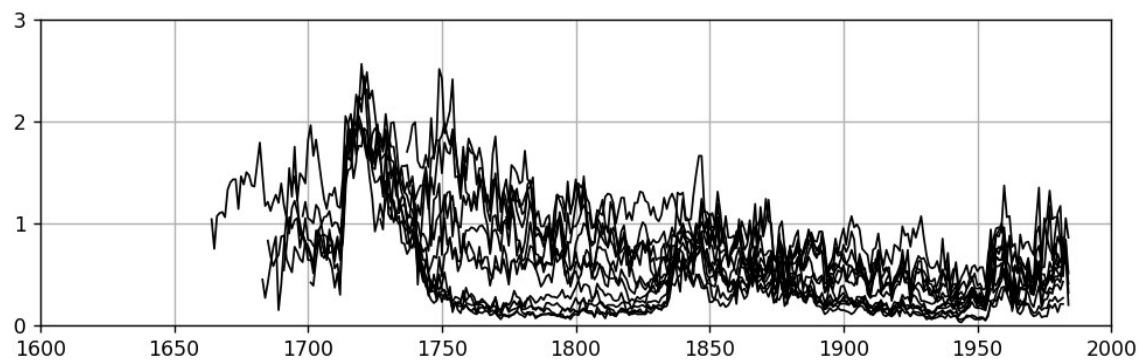
図 5-2 A-1,A-2,A-3 の散布図

5.2 A-4～A-7

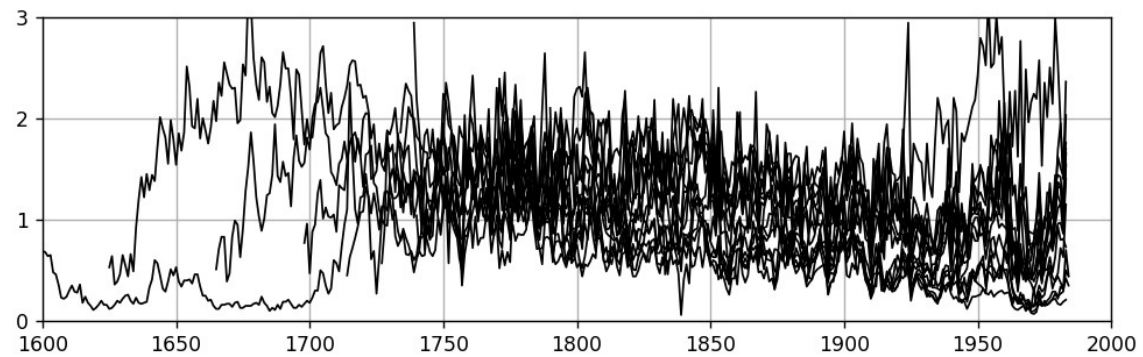
図5-3にA-4～A-7の原データを示します。個々の区別はできませんが全体の傾向がわかります。



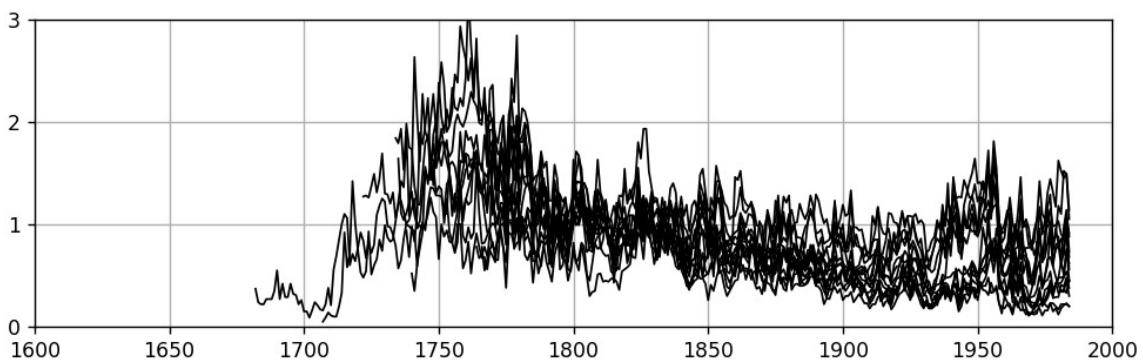
(a) A-4 (17 本)



(b) A-5 (13 本)



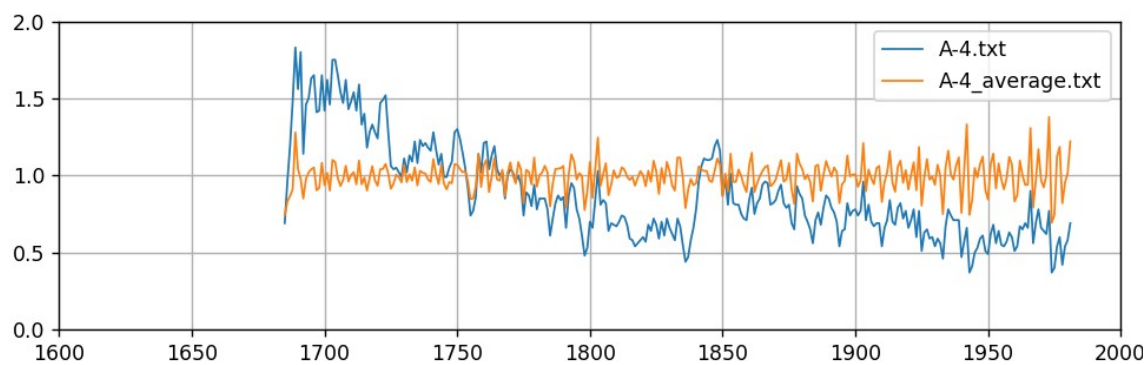
(c) A-6 (15 本)



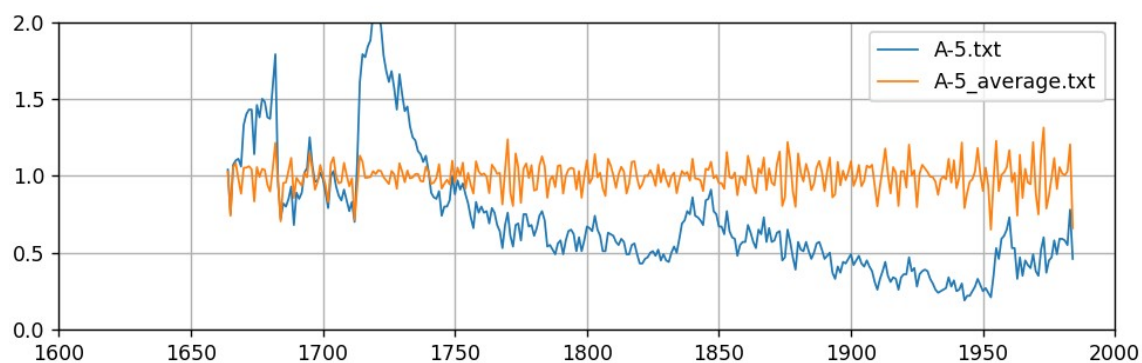
(d) A-7 (15 本)

図5-3 A-4～A-7 の原データ

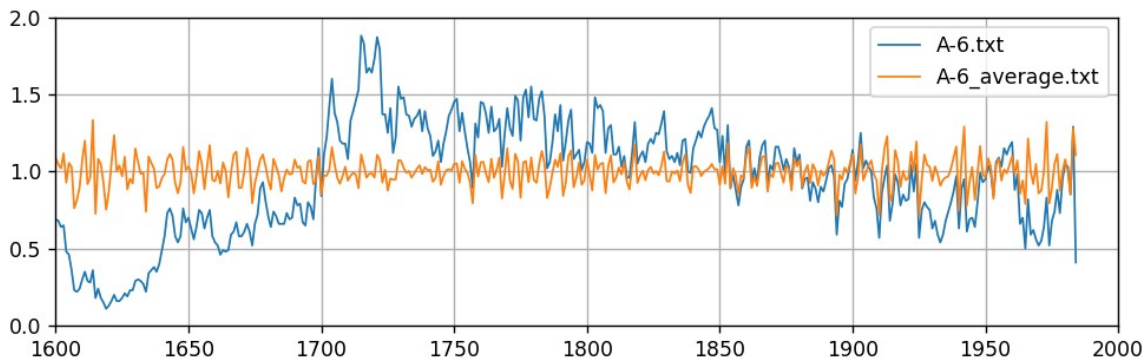
図 5-4 に A-4～A-7 について、公開された平均化済みのデータと公開された個々のデータから標準化後に平均化したデータを比べた結果を示します。公開データには長期的な変動が見られます。ただし局所的に見れば変動パターンは類似しており、 t 値は図中に記した通りすべて 30 以上となり大きい相関があります。したがって照合にはどちらを使用してもよいと思われます。



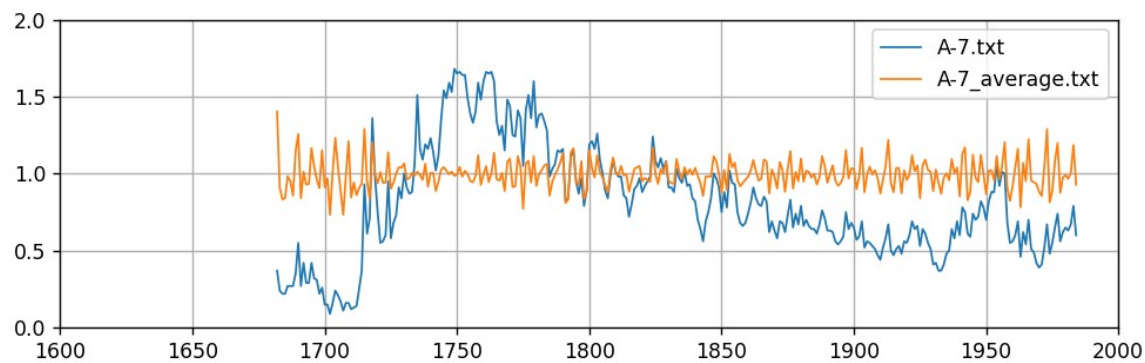
(a) A-4 ($r=0.934$, $t=45.0$)



(b) A-5 ($r=0.935$, $t=47.3$)



(c) A-6 ($r=0.919$, $t=50.9$)



(d) A-7 ($r=0.867$, $t=30.2$)

図 5-4 A-4～A-7 の 2 種類の平均化済データ

図 5-5 に適当にとった 3 データの標準化後の図を示します。図では相関は読み取りにくいですが、t 値は 8.7, 9.0, 13.2 となっており相関が高いと言えます。

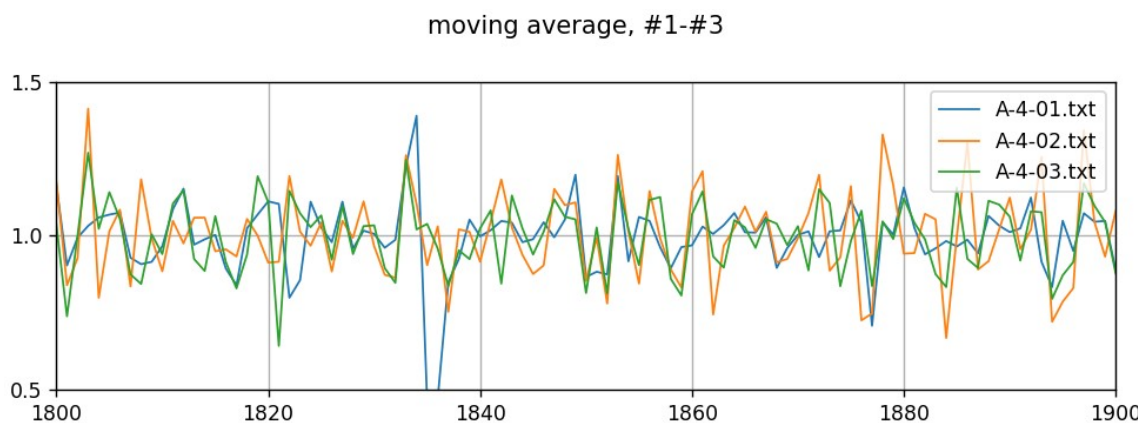


図 5-5 標準化後のデータ例

図 5-6 に A-4-01～A-4-08 の散布図を示します。どの組み合わせも相関が高いと言えます。

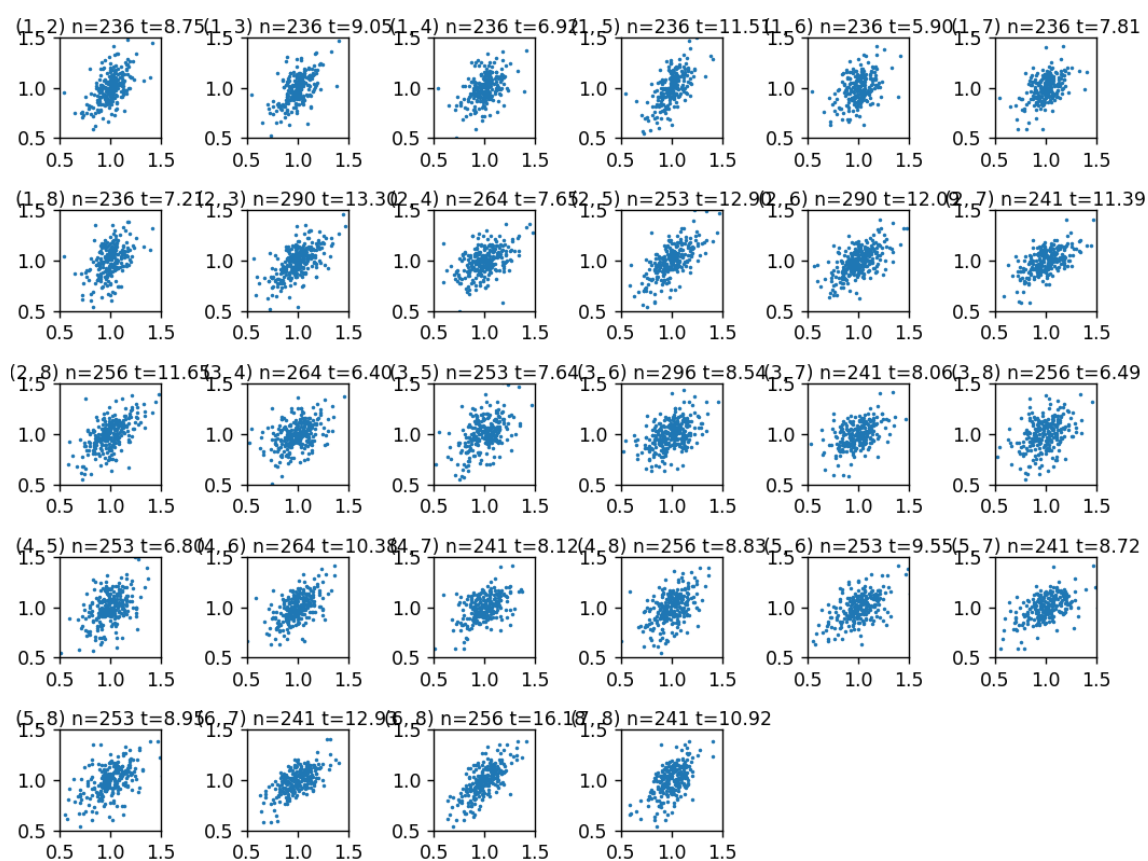


図 5-6 散布図 (A-4-01～A-4-08)

図 5-7 に A-4 と A-4-01～A-04-17 の合計 18 データの r/t マップを示します。

A-4 は A-4-01～A-04-17 の 17 個の平均をとった公開データです。

図からすべての組み合わせで t が高いことがわかります。特に A-4 は他のすべてと高い t を示します。(第 1 行と第 1 列)。

これから、「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」という著しい特性があることがわかります。これが標準パターンを作成する意義です。

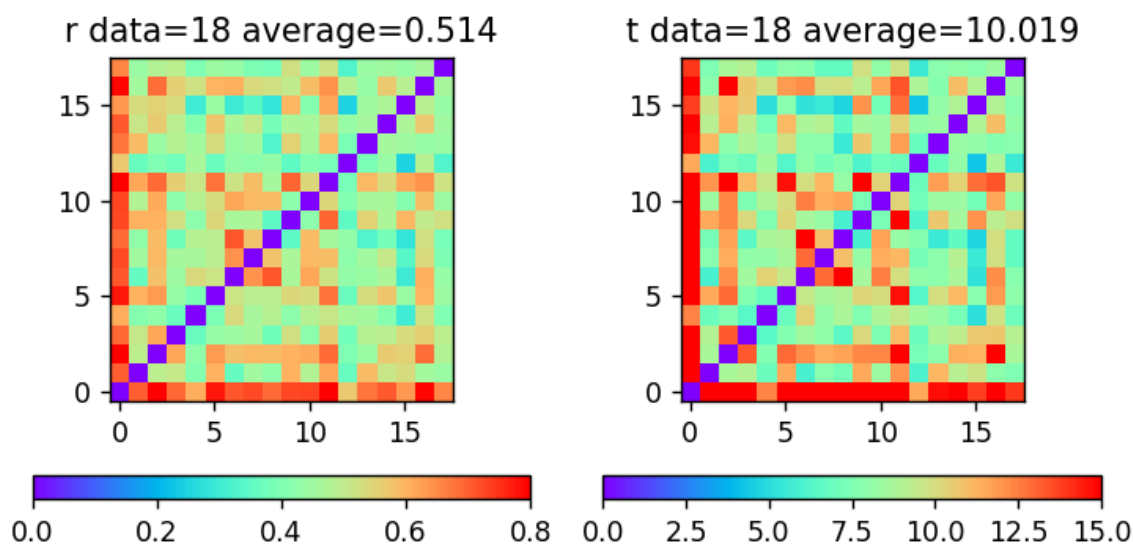
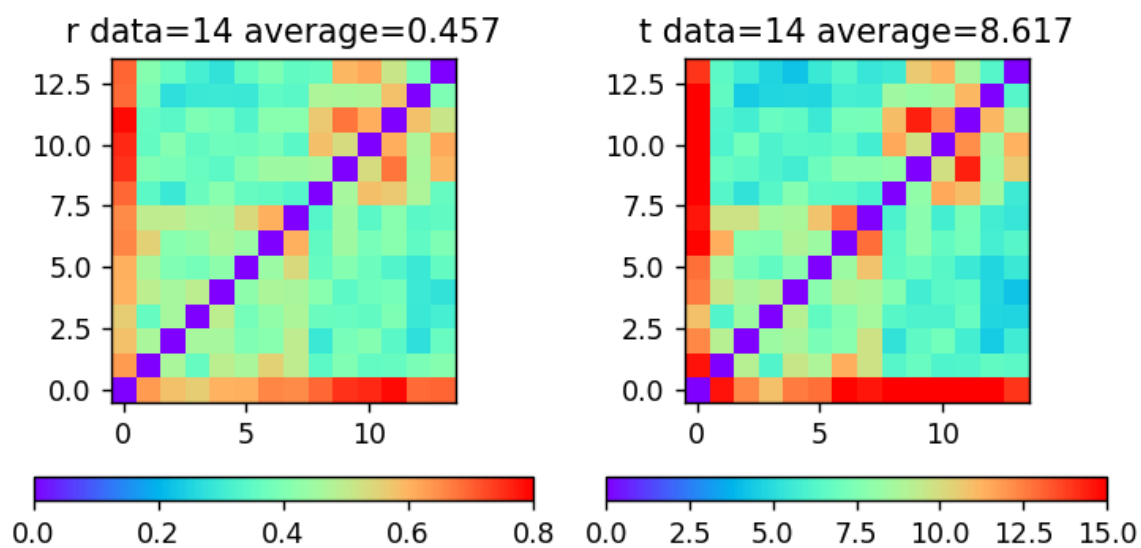


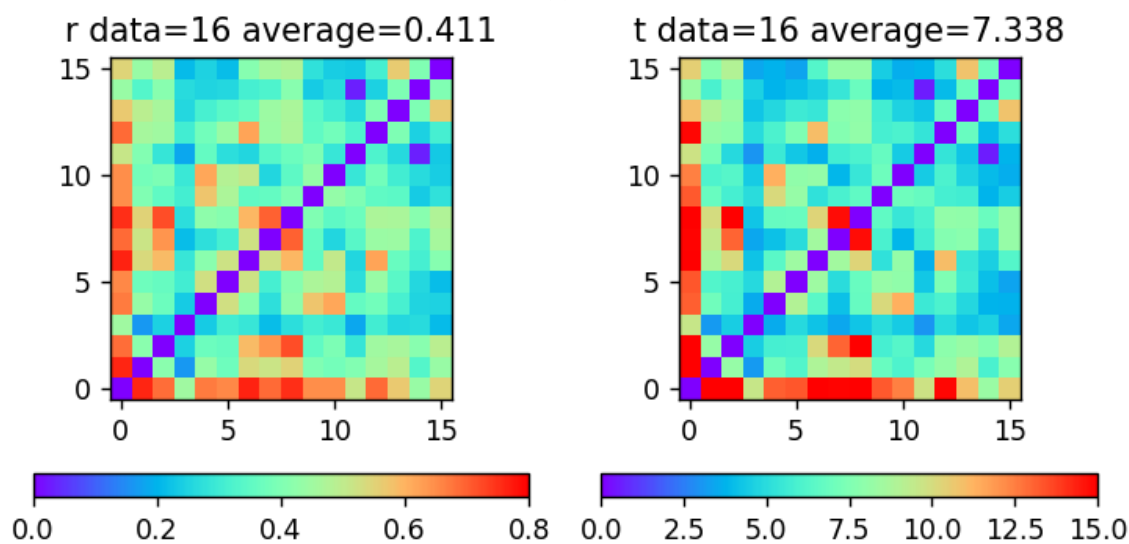
図 5-7 A-4 の r/t マップ

同様の操作を A-5,A-6,A-7 で行った結果を図 5-8 に示します。

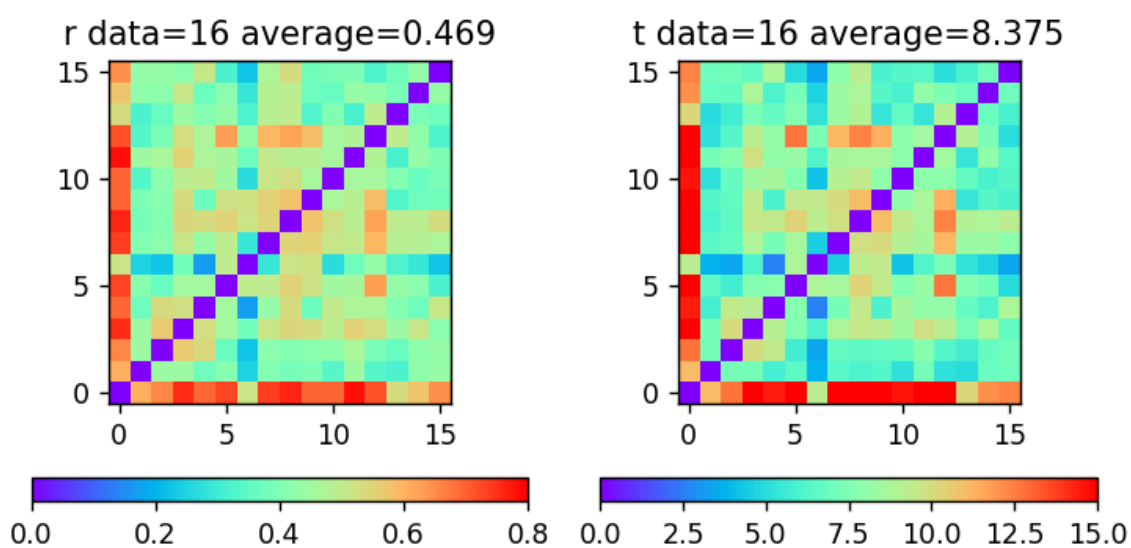
いずれの場合も上と同じ結果が得られます。一つの例外は A-6-11 と A-6-14 の組み合わせです。どちらのデータも他のデータとは相関が高いのでデータに問題はないと思われますが、この組み合わせのみ相関が低くなっています。



(a) A-5



(b) A-6



(c) A-7

図 5-8 A-5,A-6,A-7 の r/t マップ

図 5-9 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。

また、開始年に 1 年でも誤差があると t は大幅に下がるため、すべてのデータの開始年が正しいことが確認できます。

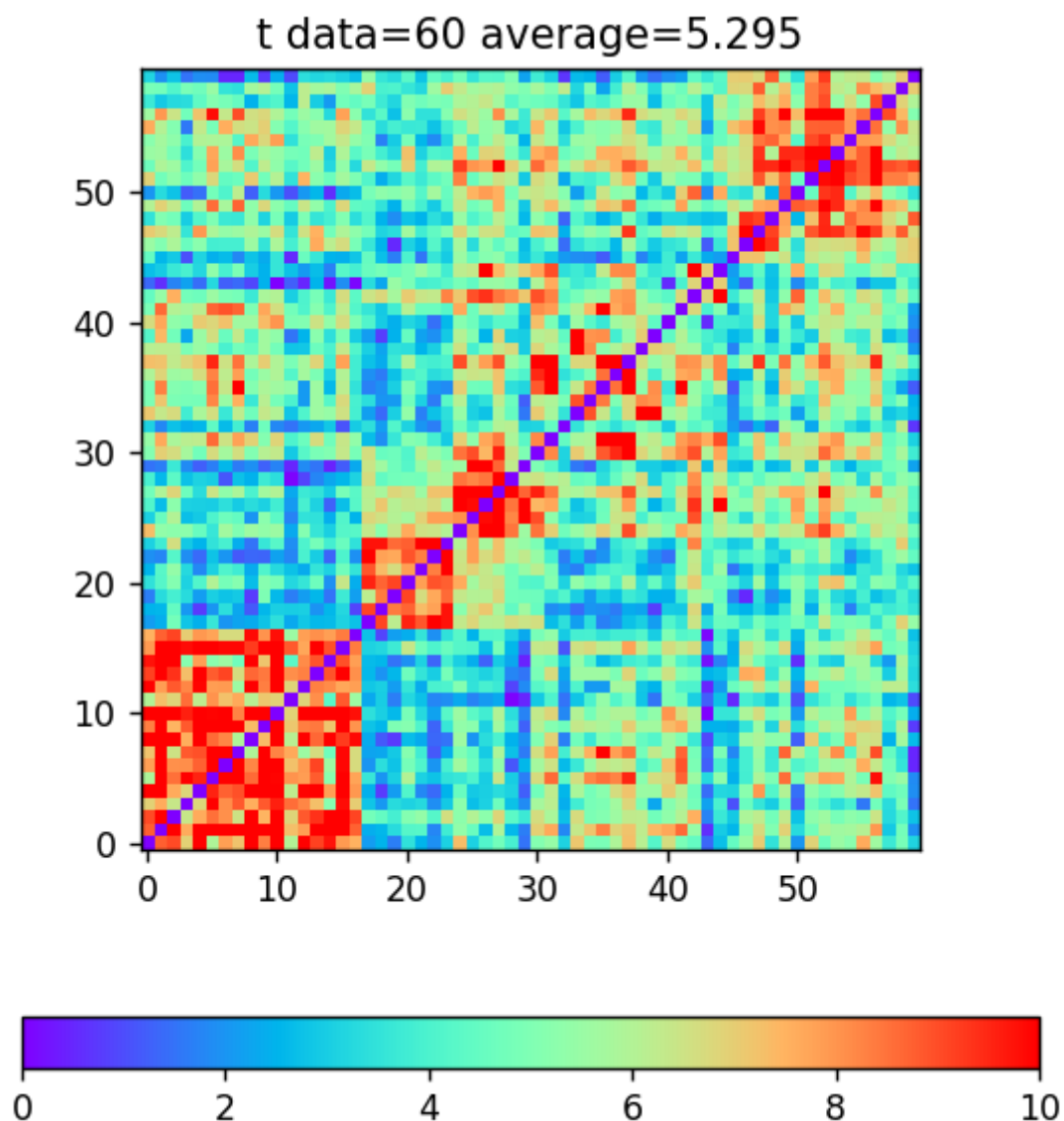


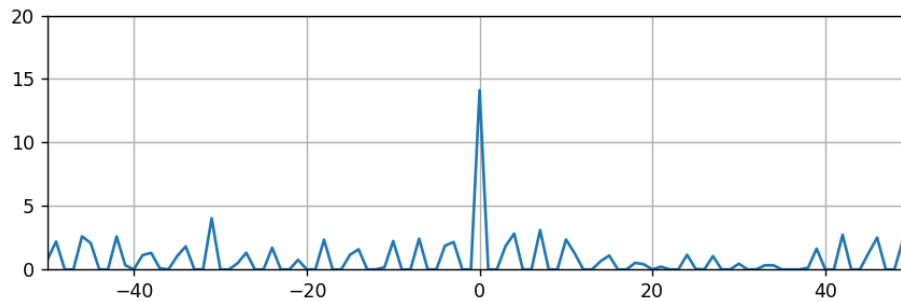
図 5-9 A-4～A-7 の t マップ

5.3 照合テスト

照合についてテストを行い説明を補足します。

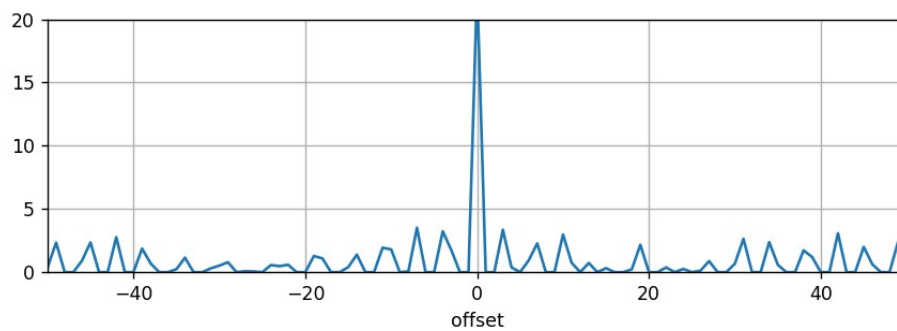
A-4 の 17 本のデータを標準化後平均化して照合の元になる標準パターンを作ります。これに A-4-01 ～A-4-03 の 3 データを照合した結果を図 5-10 に示します。いずれのケースも中心に高いピークが現れ照合がとれていることが確認できます。

compare t: ..\A-4_average.txt, A-4-01.txt (center=1981, max=0, 14.113)



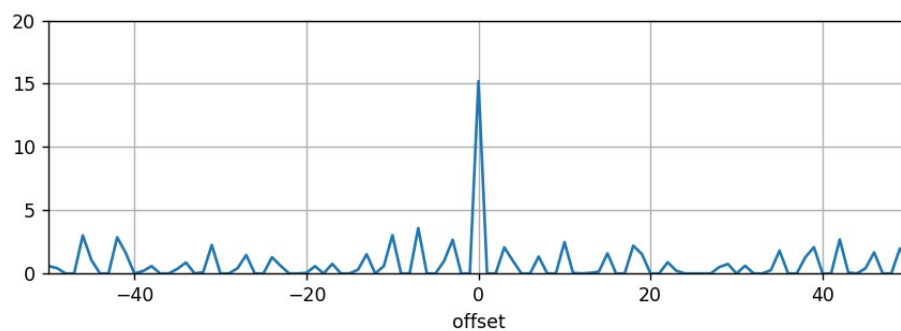
(a) テストデータ: A-4-01

compare t: ..\A-4_average.txt, A-4-02.txt (center=1981, max=0, 22.515)



(b) テストデータ: A-4-02

compare t: ..\A-4_average.txt, A-4-03.txt (center=1981, max=0, 15.204)



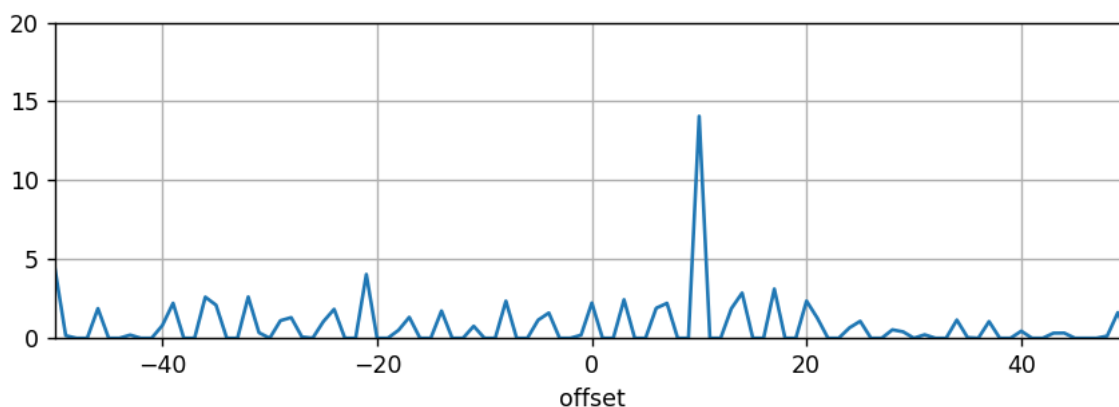
(c) テストデータ: A-4-03

図 5-10 照合テスト（照合元: A-4 平均データ）

図 5-11 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。

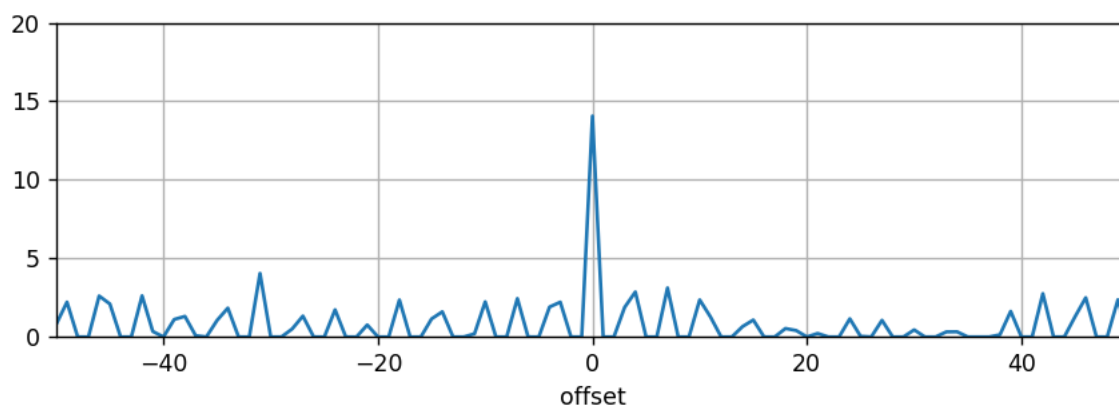
図(a)はテストデータの開始年が10年小さいときです。このとき offset=10 年に高いピークが現れます。上の(max=)にも表示されます。これをもとにテストデータの開始年（第1行の第2データ）を+10 とすると図(b)のように横軸中心にピークが来ます。これによってテストデータの正しい開始年を知ることができます。なお、上の center=はテストデータの横軸中心の終了年を表します。また、図(a)と図(b)は単純な平行移動です。

compare t: A-4_average.txt, NG.txt (center=1971, max=10, 14.060)



(a) 開始年が正しくないとき

compare t: A-4_average.txt, A-4-01.txt (center=1981, max=0, 14.060)



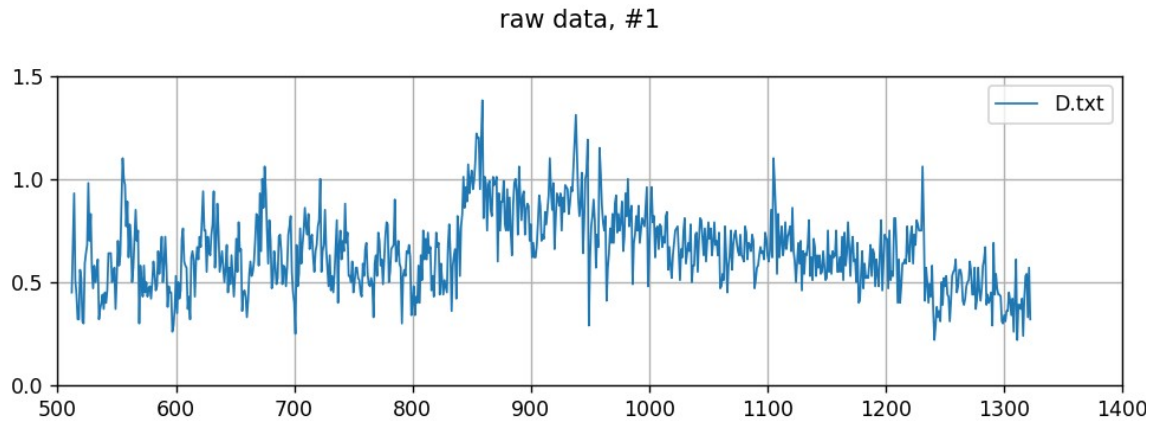
(b) 開始年が正しいとき

図 5-11 照合による開始年の修正法

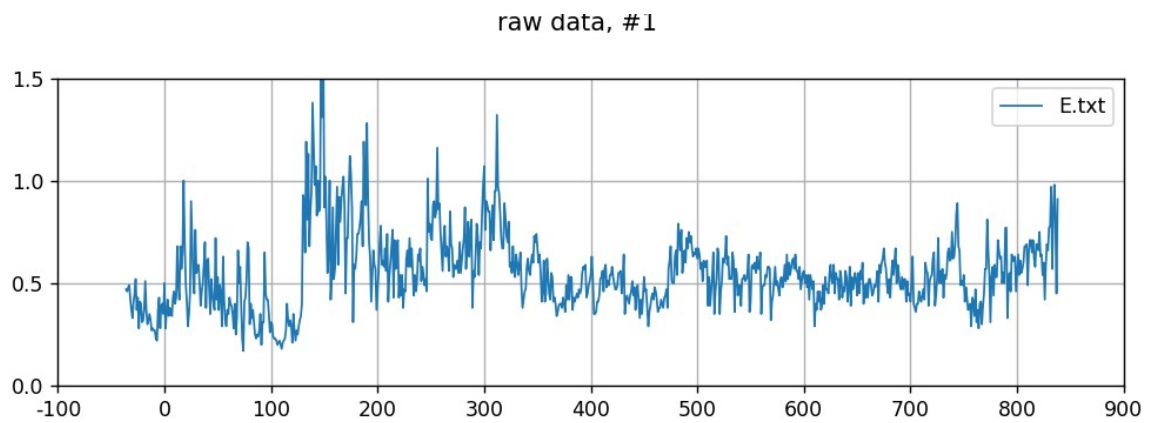
6. その他の暦年標準パターン

図 6-1 に各暦年標準パターンを示します。

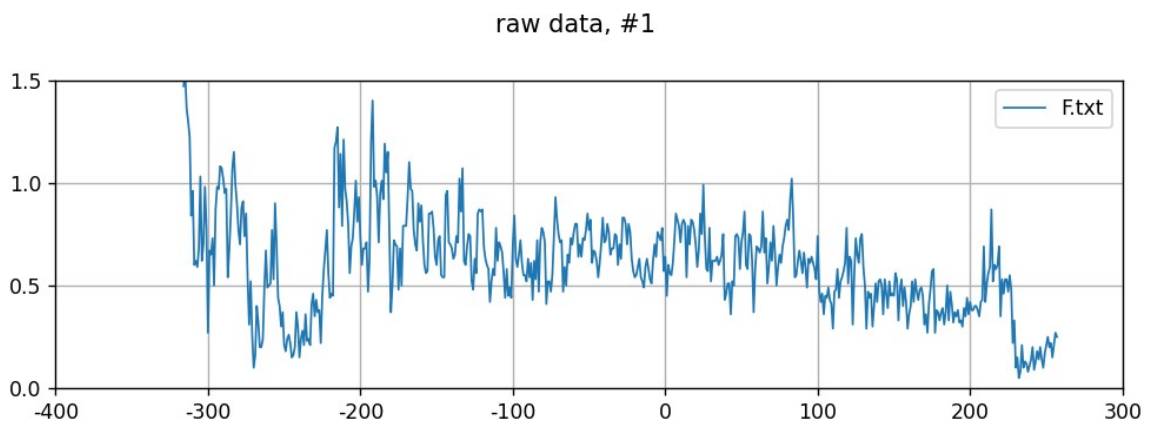
長期的な変動が見られますが前章で考察したように照合に使用するには問題ありません。



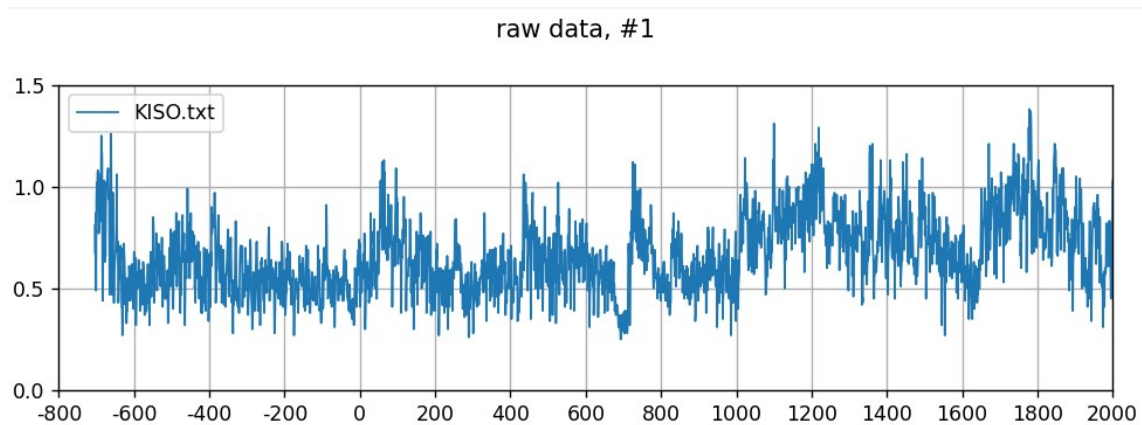
(a) 暦年標準パターン D



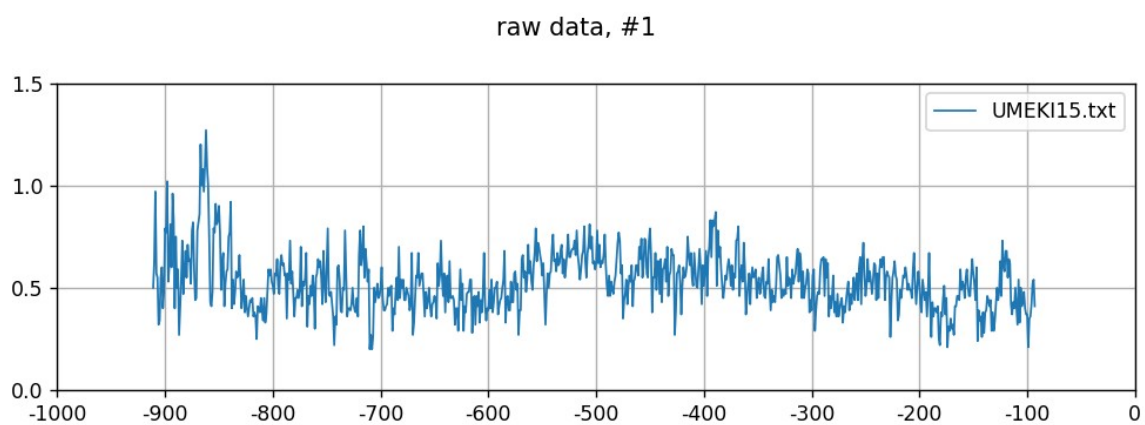
(b) 暦年標準パターン E



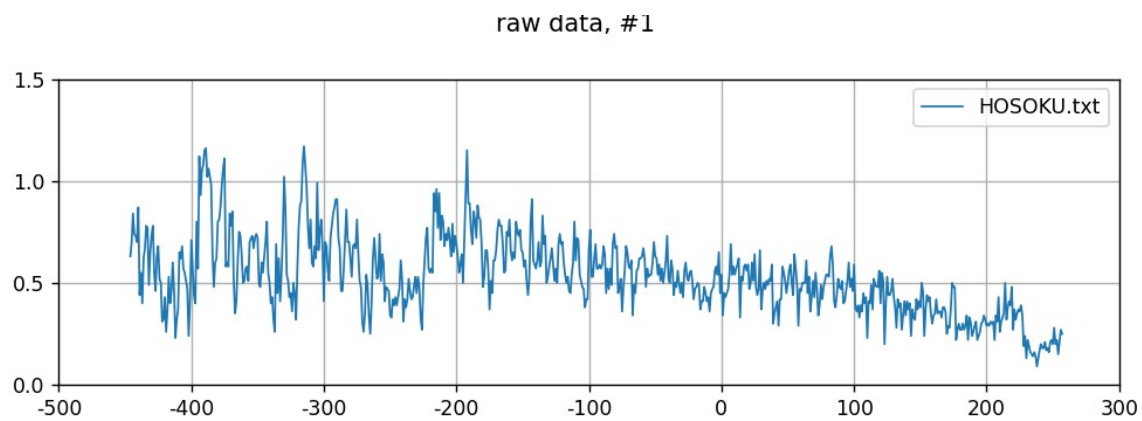
(c) 暦年標準パターン F



(d) 木曾ヒノキ暦年標準パターン



(e) 埋木 15 点年輪パターン



(f) 補足暦年標準パターン

図 6-1 その他の暦年標準パターン（未加工）

表 6-1 と表 6-2 に期間が重複する暦年標準パターン間の r と t を示します。表の中の "-" は重複する期間がない組み合わせです。重複するデータに関しては図 2-1 より重複する期間は 224 年以上です。ほとんどの組み合わせで高い相関を示しますが、赤い数字で示したように相関が低い組み合わせもあります。

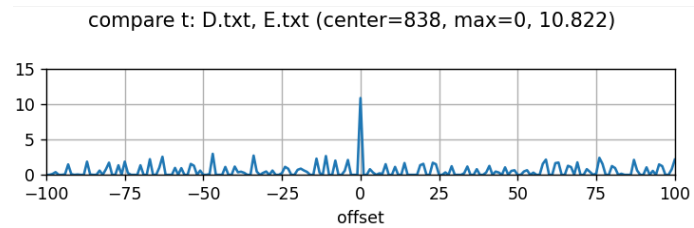
表 6-1 暦年標準パターン間の r

	D	E	F	木曽	埋木 15	補足
暦年標準パターン D		0.515	-	0.425	-	-
暦年標準パターン E			0.311	0.358	-	0.409
暦年標準パターン F				0.285	0.033	0.800
木曽ヒノキ暦年標準パターン					0.342	0.698
埋木 15 点年輪パターン						0.193
補足暦年標準パターン						

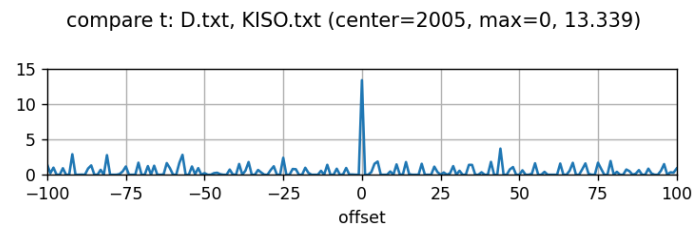
表 6-2 暦年標準パターン間の t

	D	E	F	木曽	埋木 15	補足
暦年標準パターン D		10.822	-	13.339	-	-
暦年標準パターン E			5.597	11.346	-	7.651
暦年標準パターン F				7.114	0.493	31.898
木曽ヒノキ暦年標準パターン					8.981	25.848
埋木 15 点年輪パターン						3.697
補足暦年標準パターン						

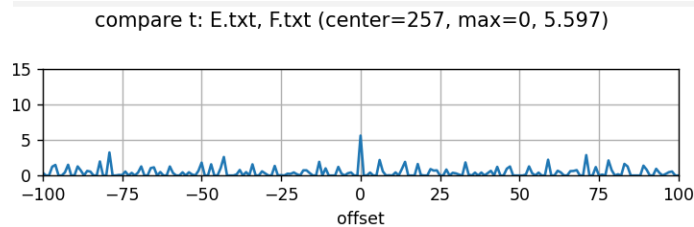
図 6-2 に暦年標準パターン間の照合結果を示します。中央のピークの値は表 6-2 の値に対応します。



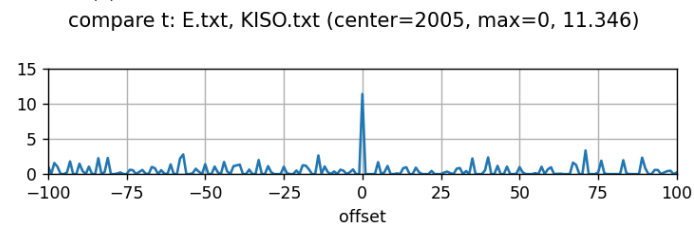
(a) 暦年標準パターン D と暦年標準パターン E



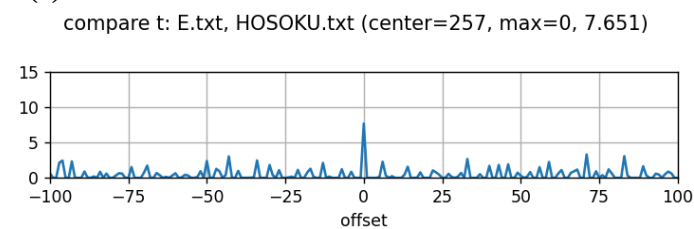
(b) 暦年標準パターン D と木曽ヒノキ暦年標準パターン



(c) 暦年標準パターン E と暦年標準パターン F

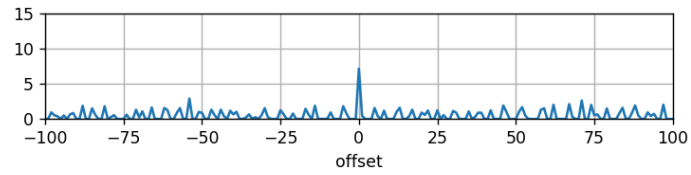


(d) 暦年標準パターン E と木曽ヒノキ暦年標準パターン



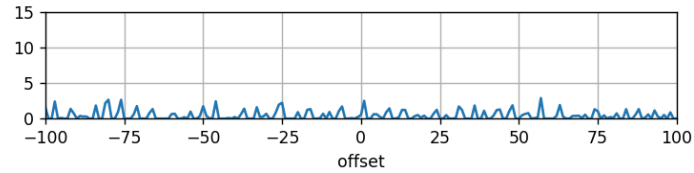
(e) 暦年標準パターン E と補足暦年標準パターン

compare t: F.txt, KISO.txt (center=2005, max=0, 7.114)



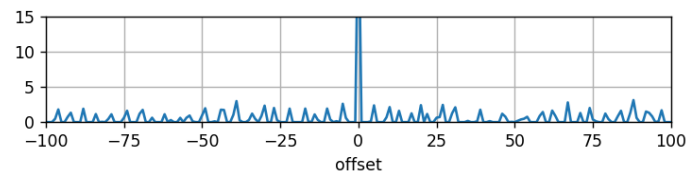
(f) 暦年標準パターン F と木曽ヒノキ暦年標準パターン

compare t: F.txt, UMEKI15.txt (center=-93, max=57, 2.878)



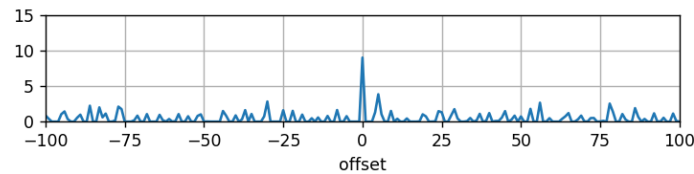
(g) 暦年標準パターン F と埋木 15 点標準パターン

compare t: F.txt, HOSOKU.txt (center=257, max=0, 31.898)



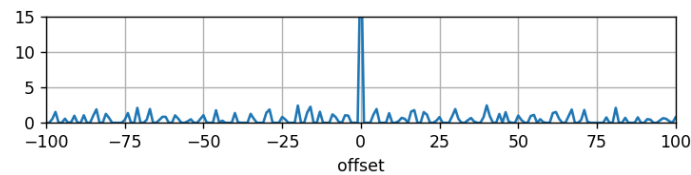
(h) 暦年標準パターン F と補足暦年標準パターン

compare t: KISO.txt, UMEKI15.txt (center=-93, max=0, 8.981)



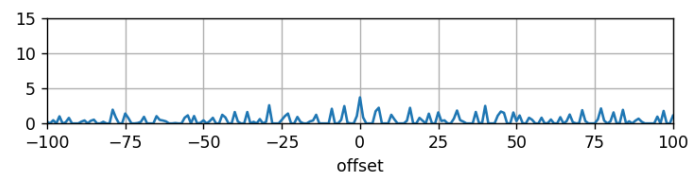
(i) 木曽ヒノキ暦年標準パターンと埋木 15 点標準パターン

compare t: KISO.txt, HOSOKU.txt (center=257, max=0, 25.848)



(j) 木曽ヒノキ暦年標準パターンと補足暦年標準パターン

compare t: UMEKI15.txt, HOSOKU.txt (center=257, max=0, 3.697)



(k) 埋木 15 点標準パターンと補足暦年標準パターン

図 6-2 暦年標準パターン間の照合結果

7. 年代不確定データの照合

本章では表 2-3 の 8 点の年代未確定データを暦年標準パターンを用いて照合を行います。

7.1 法隆寺五重塔心柱

法隆寺五重塔心柱について、図 7-1 に原データ、図 7-2 に標準化後のデータを示します。

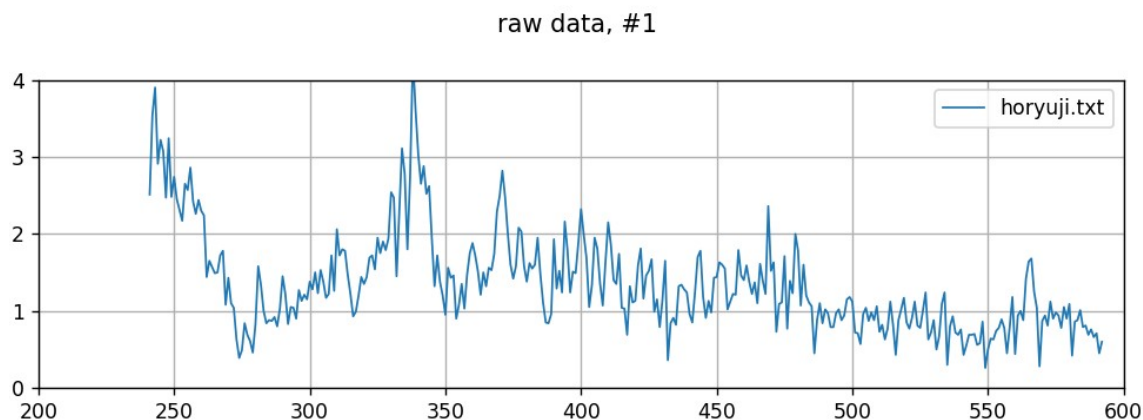


図 7-1 法隆寺五重塔心柱の原データ

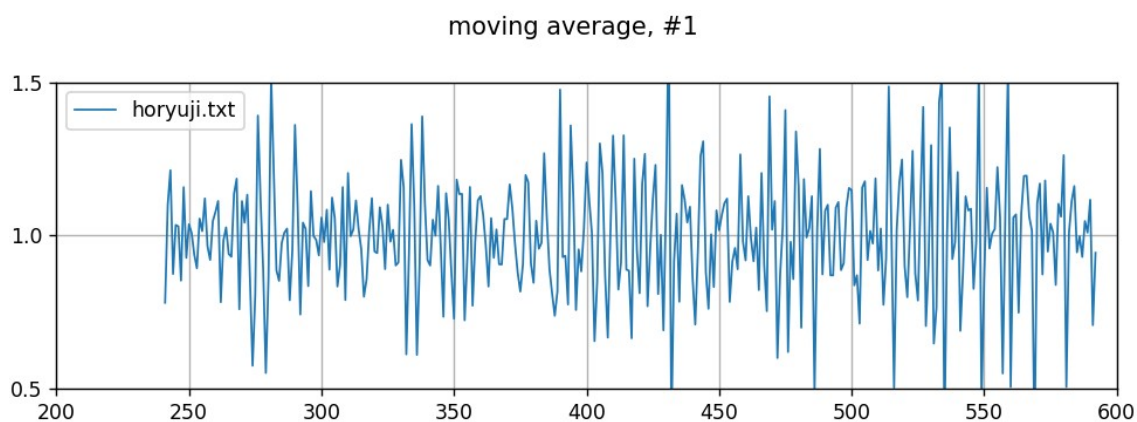
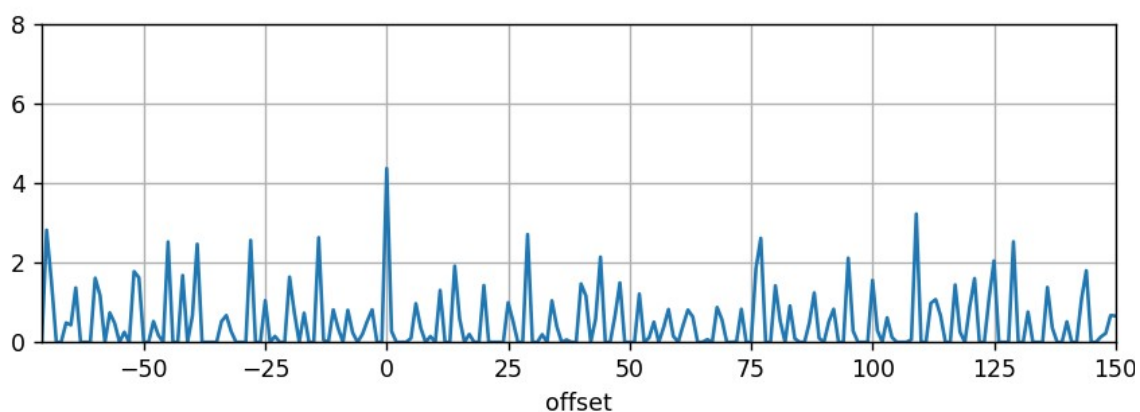


図 7-2 法隆寺五重塔心柱の標準化後データ

法隆寺五重塔心柱の年代は暦年標準パターン D、暦年標準パターン E、木曾ヒノキ暦年標準パターンと重複しているために以上の 3 標準パターンと照合を行いました。

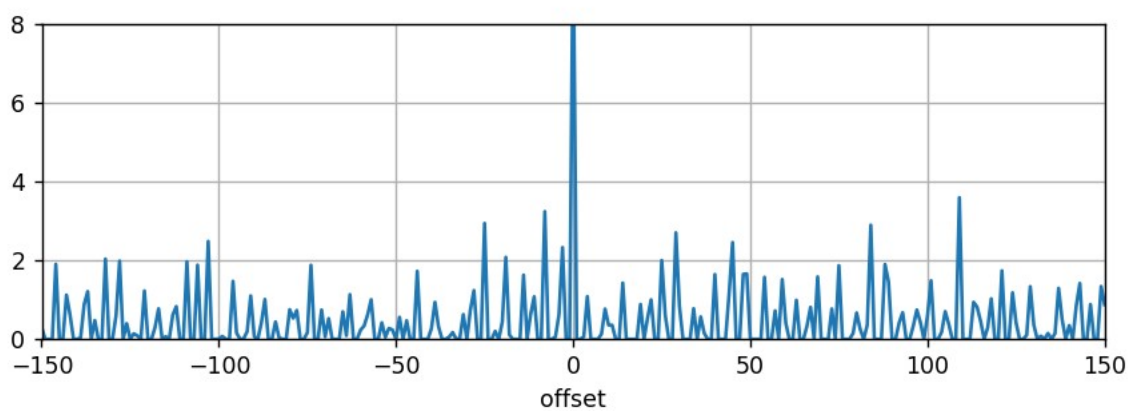
図 7-3 からすべてのケースで終了年 592 年としたときよく相関がとれています。t は順に 4.4, 10.4, 5.6 です。t が 3 を超えるピークはその他にもありますが、3 ケースで年が合っているものは他にありません。なお、本データは C タイプであり、伐採年は終了年の数十年後とされています[1]。

compare t: D.txt, horyuji.txt (center=592, max=0, 4.360)



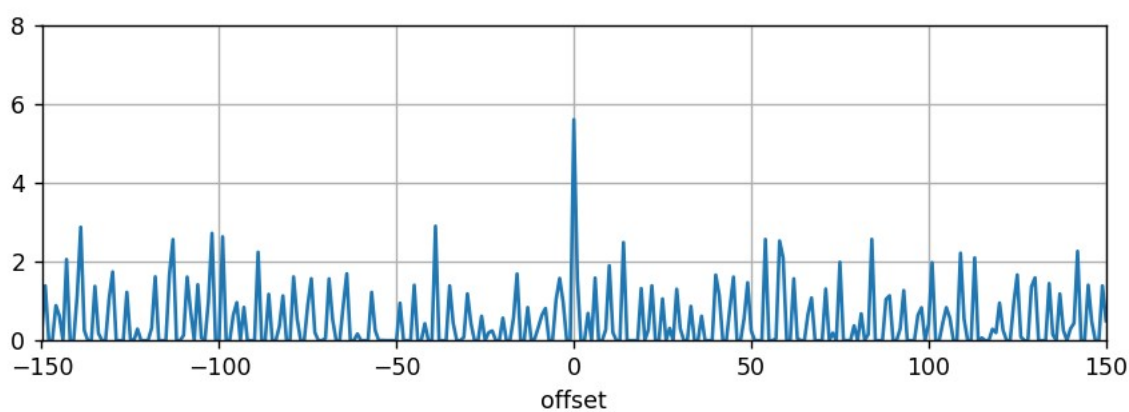
(a) 暦年標準パターンD使用

compare t: E.txt, horyuji.txt (center=592, max=0, 10.445)



(b) 暦年標準パターンE使用

compare t: KISO.txt, horyuji.txt (center=592, max=0, 5.596)



(c) 木曾ヒノキ暦年標準パターン使用

図 7-3 法隆寺五重塔心柱の照合結果

7.2 纏向勝山古墳板材

纏向勝山古墳板材について、図 7-4 に原データ、図 7-5 に標準化後のデータを示します。

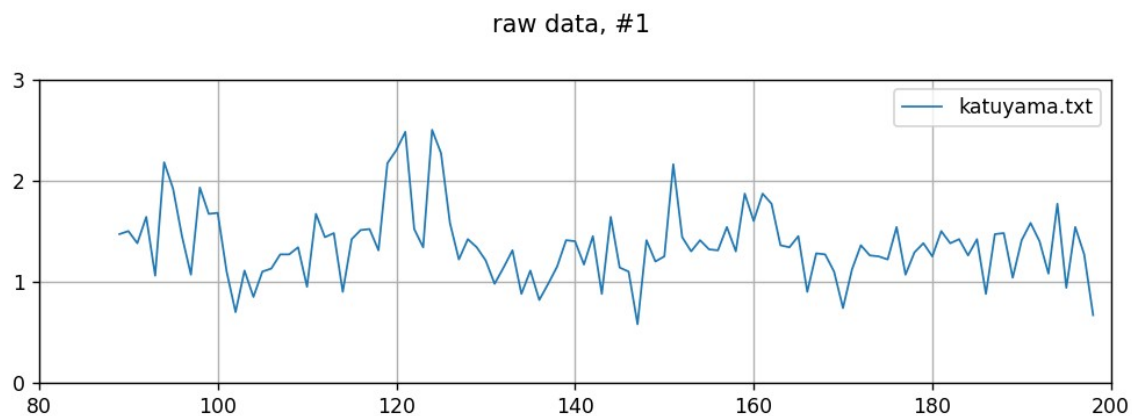


図 7-4 纏向勝山古墳板材の原データ

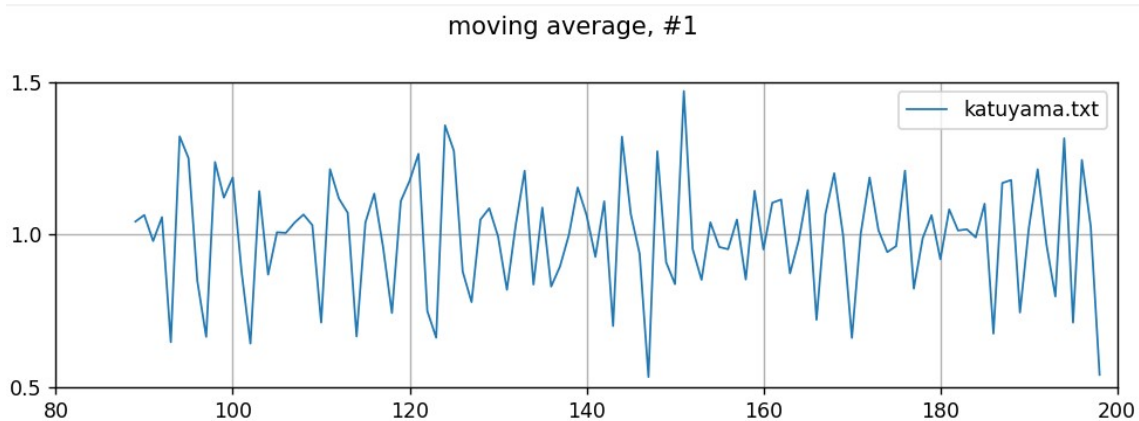
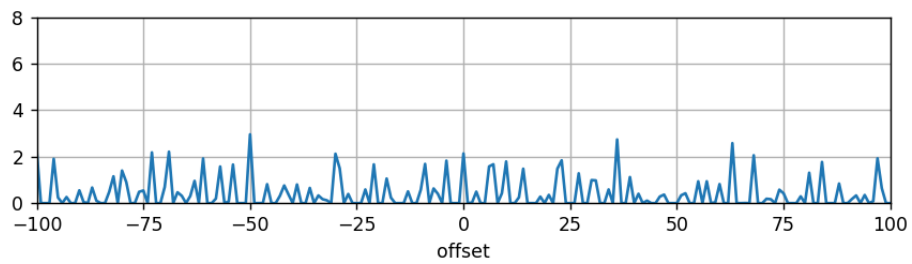


図 7-5 纏向勝山古墳板材の標準化後データ

纏向勝山古墳板材の年代は暦年標準パターン 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と重複しているために以上の 4 標準パターンと照合を行いました。

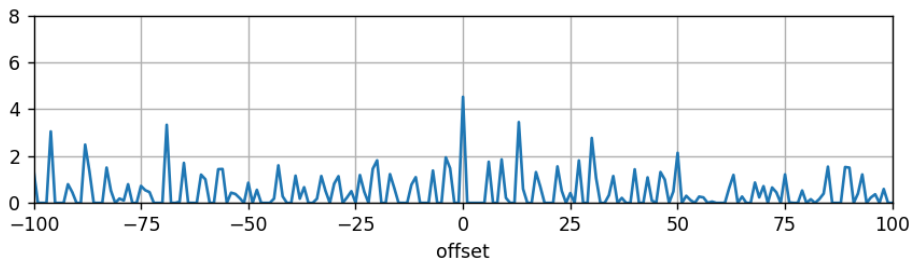
図 7-6 から(a)以外の 3 ケースで終了年 198 年にピークが見られます。t はそれぞれ 4.5, 4.7, 5.0 です。t は高くありませんが 3 ケースで照合がとれたことは有意な結果を表しています。

compare t: E.txt, katuyama.txt (center=198, max=-50, 2.956)



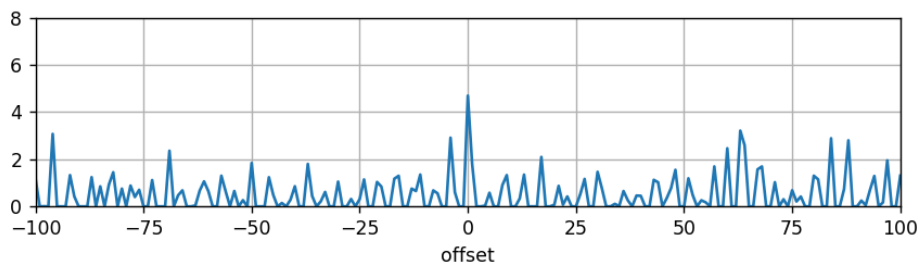
(a) 暦年標準パターン E 使用

compare t: F.txt, katuyama.txt (center=198, max=0, 4.525)



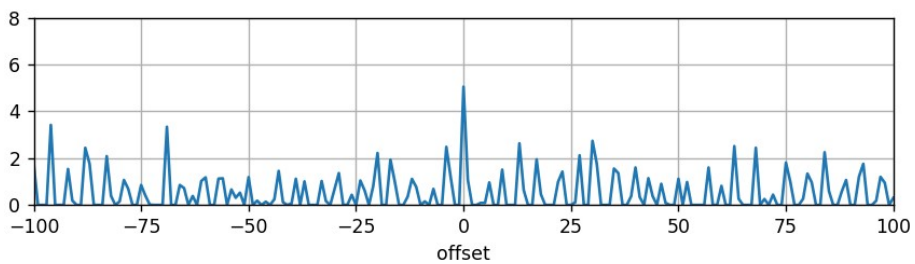
(b) 暦年標準パターン F 使用

compare t: KISO.txt, katuyama.txt (center=198, max=0, 4.690)



(c) 木曽ヒノキ暦年標準パターン使用

compare t: HOSOKU.txt, katuyama.txt (center=198, max=0, 5.048)



(d) 補足暦年標準パターン使用

図 7-6 纏向勝山古墳板材の照合結果

7.3 纏向石塚古墳板材

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

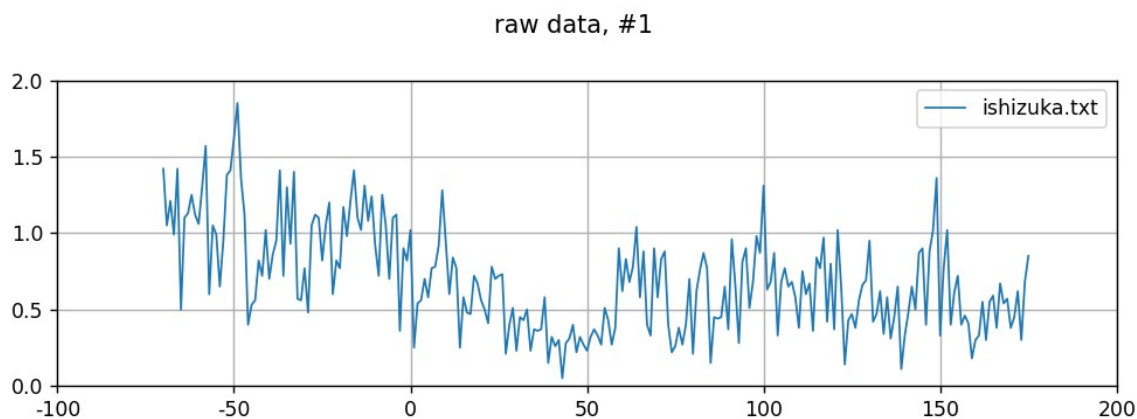


図 7-7 纏向石塚古墳板材の原データ

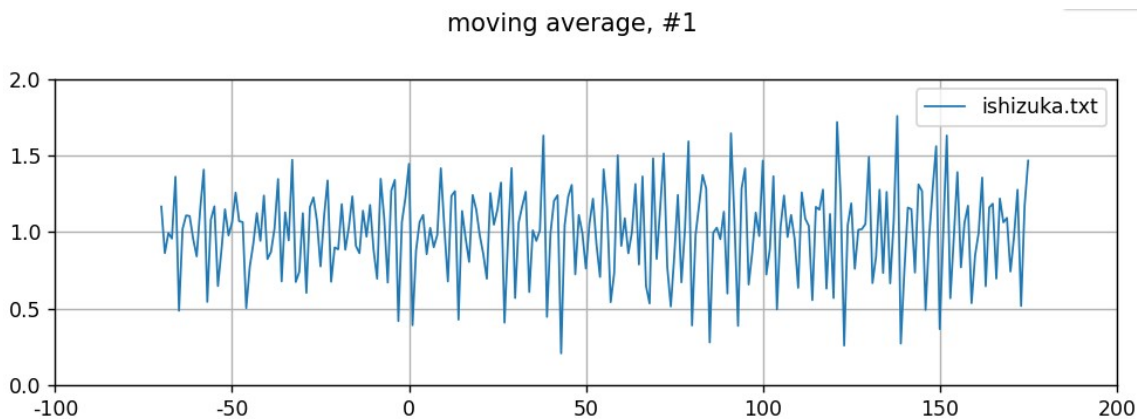
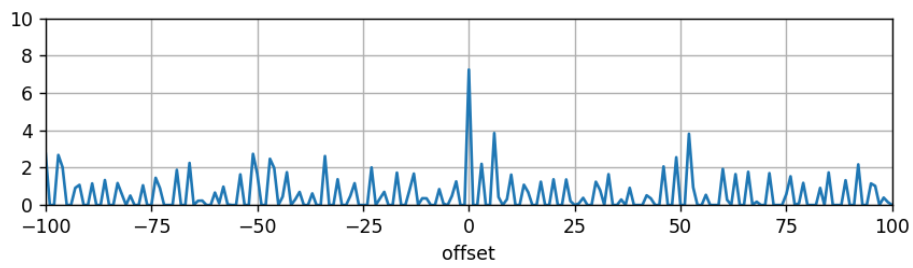


図 7-8 纏向石塚古墳板材の標準化後データ

纏向石塚古墳板材の年代は暦年標準パターン 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と重複しているために以上の 4 標準パターンと照合を行いました。

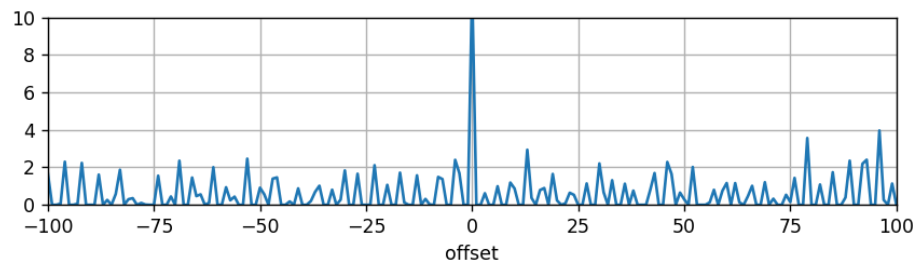
図 7-9 からすべてのケースで終了年 175 年に高いピークが見られます。t はそれぞれ 7.2, 11.7, 7.5, 12.0 です。以上から終了年は 175 年で確定と思われます。ただし、(b)(c)(d) の 3 ケースに共通して +96 年（終了年 271 年）に比較的高いピークが見られる点に注意が必要です。

compare t: E.txt, ishizuka.txt (center=175, max=0, 7.244)



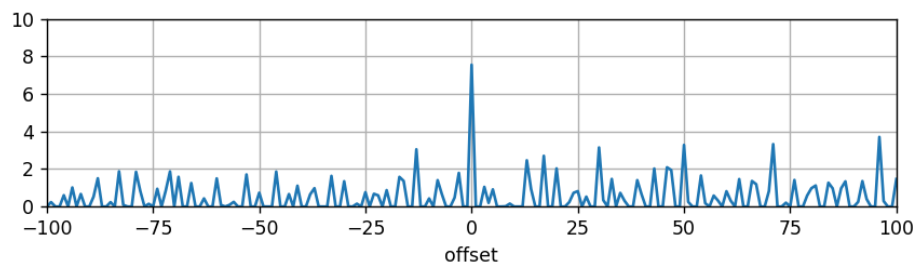
(a) 暦年標準パターン E 使用

compare t: F.txt, ishizuka.txt (center=175, max=0, 11.655)



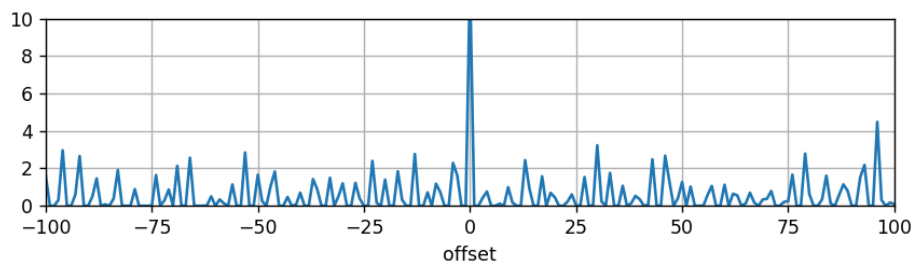
(b) 暦年標準パターン F 使用

compare t: KISO.txt, ishizuka.txt (center=175, max=0, 7.548)



(c) 木曽ヒノキ暦年標準パターン使用

compare t: HOSOKU.txt, ishizuka.txt (center=175, max=0, 12.008)



(d) 補足暦年標準パターン使用

図 7-9 纏向石塚古墳板材の照合結果

7.4 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]。新しい年代は酸素同位体法の結果ともよく一致しています。ここでは新しい年代を使用します。

図 7-10 に原データ、図 7-11 に標準化後のデータを示します。

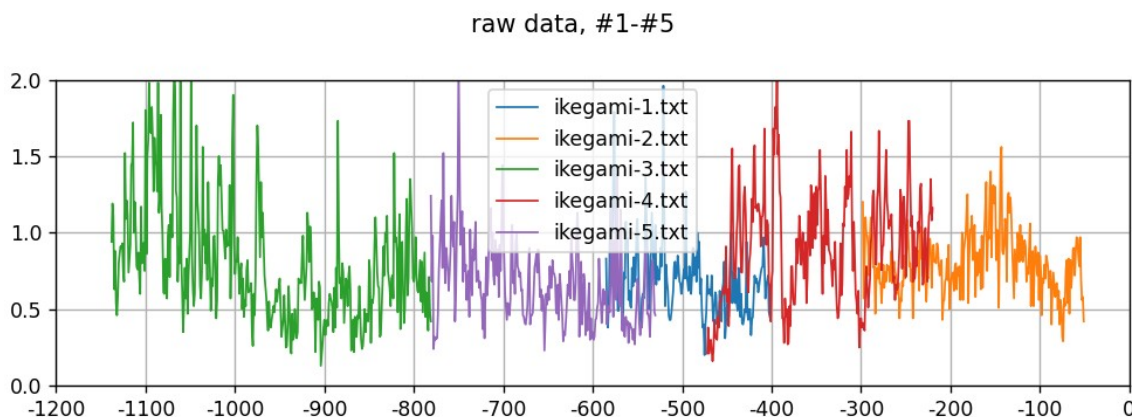


図 7-10 池上曽根遺跡柱根の原データ

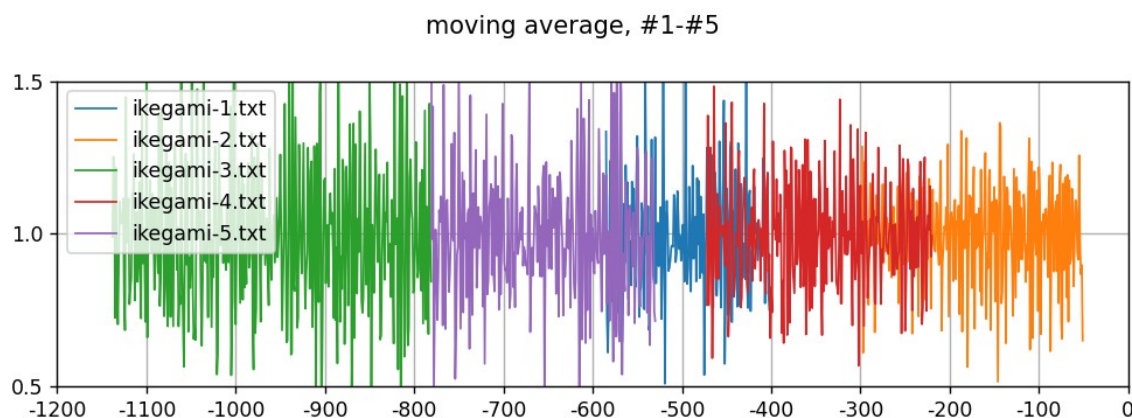


図 7-11 池上曽根遺跡柱根の標準化後データ

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。

横軸の offset は仮説として立てた年代からの変位です。従って offset=0 に高いピークがあれば仮説年代が正しいことになります。

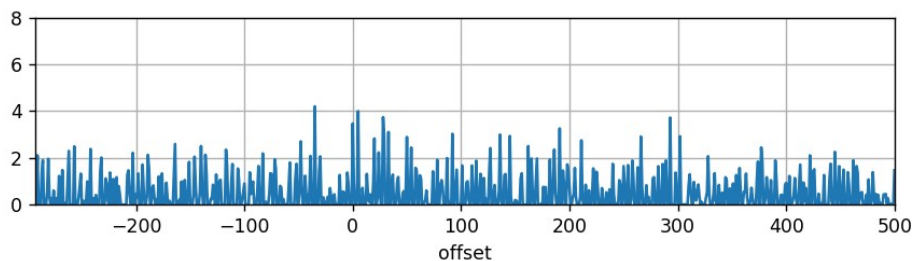
結論としては、ikegami-3 以外の年代を特定することができましたが、年代を特定できない標準パターンも少なからずあります。

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ことを意味します。

図 7-12 に ikegami-1 を各標準パターンと照合した結果を示します。

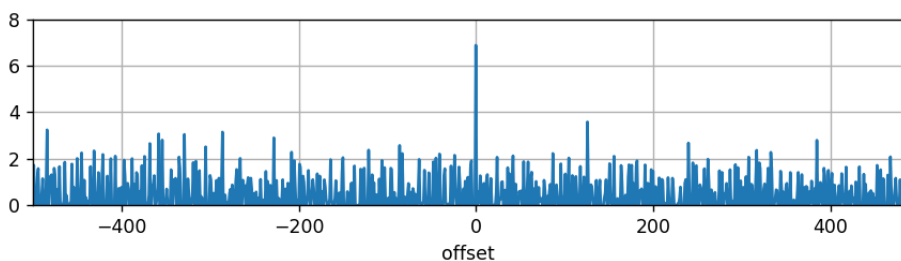
(b)の仮説年 (offset=0) に顕著なピークが見られます (終了年-402 年)。(a)(c)には顕著なピークは見られません。

compare t: KISO.txt, ikegami-1.txt (center=-402, max=-35, 4.199)



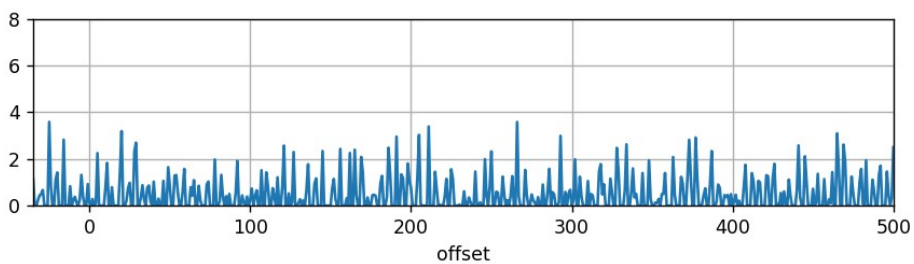
(a) 木曽ヒノキ暦年標準パターン

compare t: UMEKI15.txt, ikegami-1.txt (center=-402, max=0, 6.876)



(b) 埋木 15 点年輪パターン

compare t: HOSOKU.txt, ikegami-1.txt (center=-402, max=-25, 3.580)



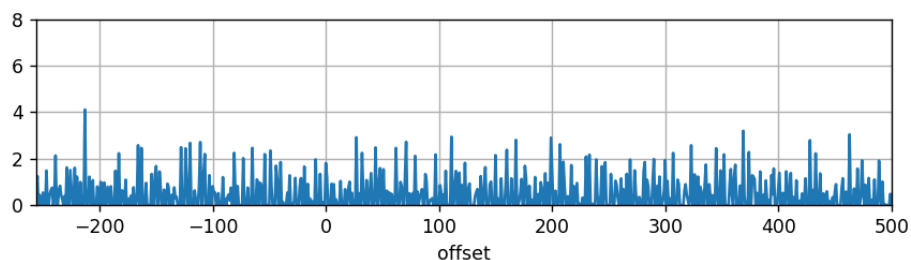
(c) 補足暦年標準パターン

図 7-12 ikegami-1 データの照合結果

図 7-13 に ikegami-2 を各標準パターンと照合した結果を示します。

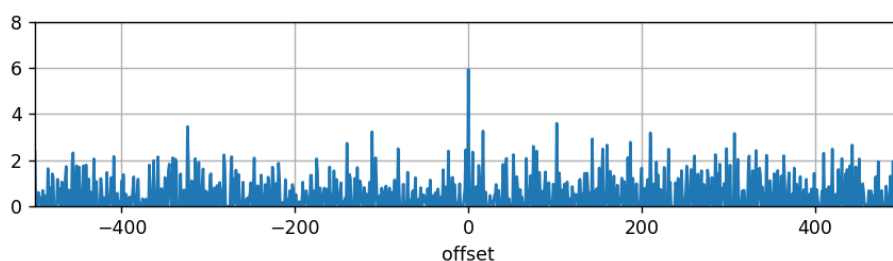
(b)(d)の仮説年に大きなピークが見られます。終了年-51 年は[6][7]と一致します。(a)(c)には顕著なピークは見られません。本データのみ A タイプなので終了年=伐採年です。

compare t: F.txt, ikegami-2.txt (center=-51, max=-213, 4.110)



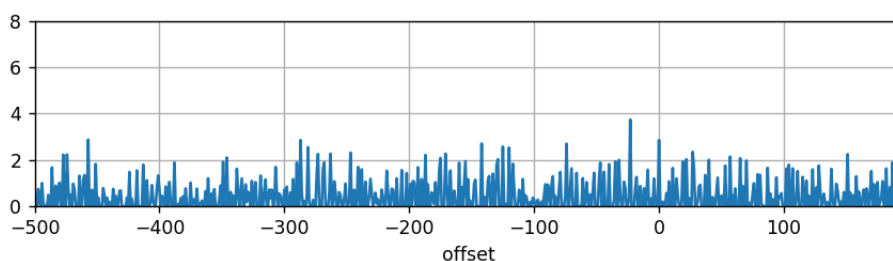
(a) 暦年標準パターン F

compare t: KISO.txt, ikegami-2.txt (center=-51, max=0, 5.926)



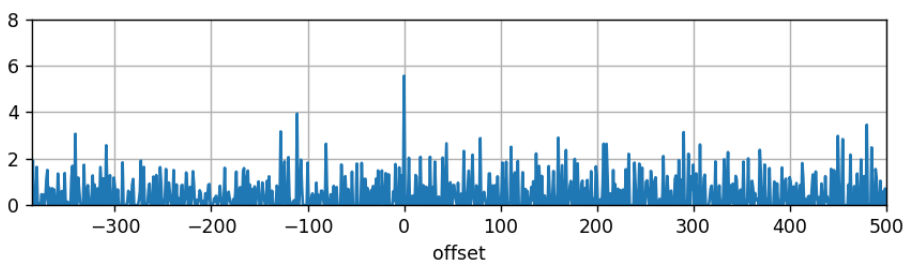
(b) 木曽ヒノキ暦年標準パターン

compare t: UMEKI15.txt, ikegami-2.txt (center=-51, max=-23, 3.738)



(c) 埋木 15 点年輪パターン

compare t: HOSOKU.txt, ikegami-2.txt (center=-51, max=0, 5.557)

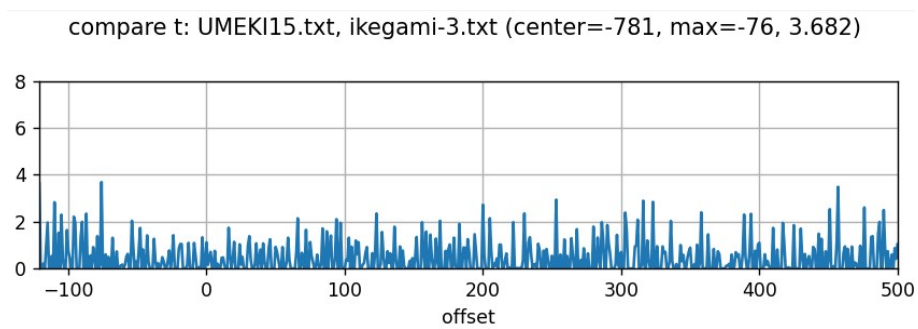


(d) 補足暦年標準パターン

図 7-13 ikegami-2 データの照合結果

図 7-14 に ikegami-3 を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 年古いところと 457 年新しいところに小さいピークが見られます。



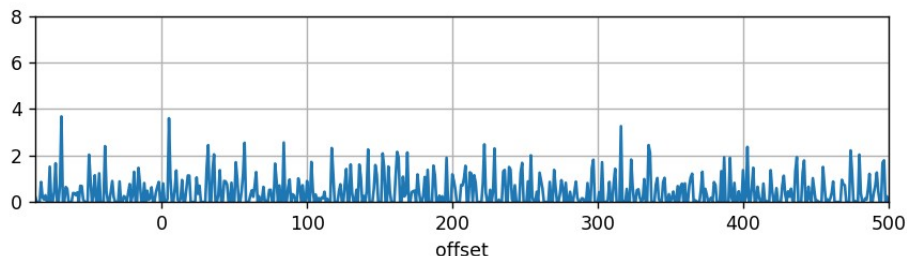
(a) 埋木 15 点年輪パターン

図 7-14 ikegami-3 データの照合結果

図 7-15 に ikegami-4 を各標準パターンと照合した結果を示します。

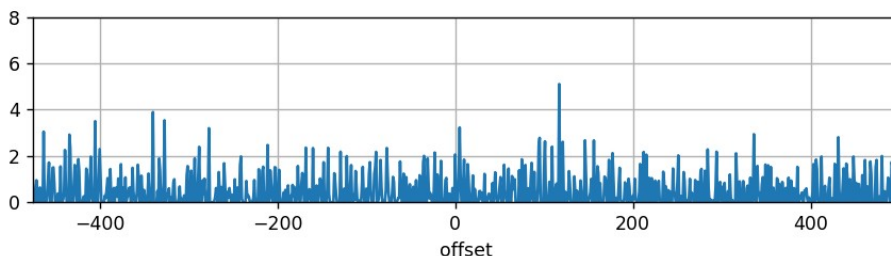
(c)の仮説年に大きなピークが見られます(終了年-220年)。ただし、(b)(c)(d)に共通して 117 年新しいところ小さいピークが見られることは要注意です。

compare t: F.txt, ikegami-4.txt (center=-220, max=-69, 3.675)



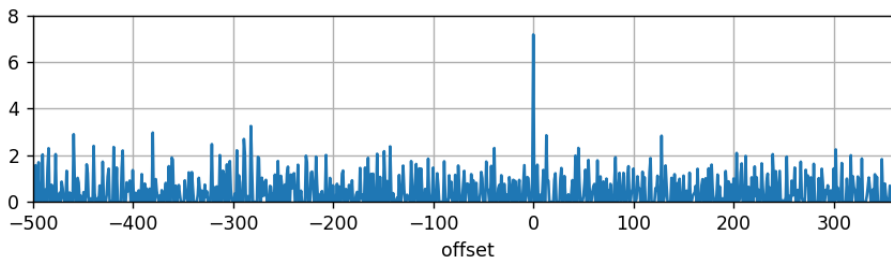
(a) 暦年標準パターン F

compare t: KISO.txt, ikegami-4.txt (center=-220, max=117, 5.098)



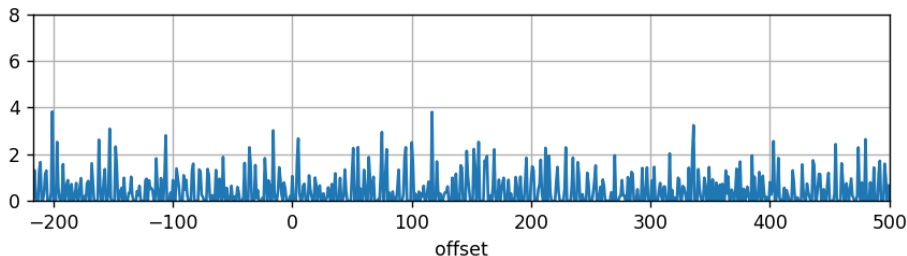
(b) 木曾ヒノキ暦年標準パターン

compare t: UMEKI15.txt, ikegami-4.txt (center=-220, max=0, 7.173)



(c) 埋木 15 点年輪パターン

compare t: HOSOKU.txt, ikegami-4.txt (center=-220, max=-201, 3.824)

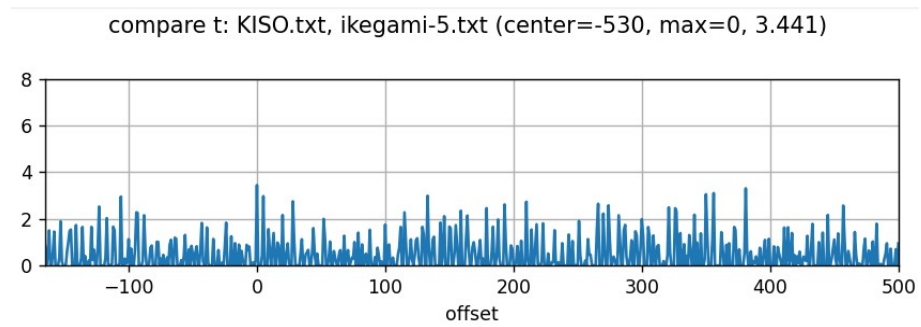


(d) 補足暦年標準パターン

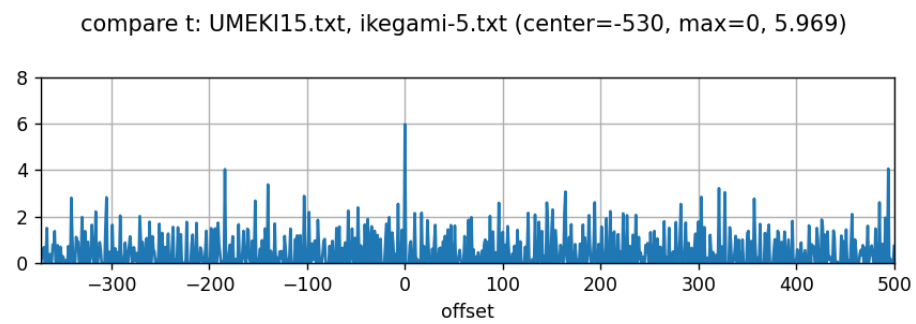
図 7-15 ikegami-4 データの照合結果

図 7-16 に ikegami-5 を各標準パターンと照合した結果を示します。

(b)の仮説年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

図 7-16 ikegami-5 データの照合結果

8. 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、ヒストグラムなどがあります。

次に、暦年標準パターン A のもととなった年輪データについて詳しく調べ、それらから標準パターンを作成する過程を述べました。その他の暦年標準パターンについても検討を加えました。

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特定することができました。

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>