

〈一般研究課題〉 気候変動に係る潮汐調和分解解析および高潮位の  
極値解析システムの構築  
助成研究者 名古屋工業大学 北野 利一



## 気候変動に係る潮汐調和分解解析および高潮位の 極値解析システムの構築

北野 利一  
(名古屋工業大学)

### 1. はじめに

潮位変動は、地球に住むものにとって身近な変動の1つである。近年、バイオタイド（生物学的な潮位）に基づく犯罪社会学的な検討も行われている。また、海洋資源の利用の観点から、潮汐の満干による潮位差を利用した潮汐発電所も、フランスをはじめ実施段階になってきた。その一方で、台風や低気圧の来襲による強風や気圧の急激な変化により、天文潮位により予測される水位よりも異常に上昇する高潮という災害も知られる。このような100年に1回生じるか否かの希少性のある現象は、極値解析により検討される。これは、主として、「最大値」や「極大値」という統計量（これらを、極値という）を扱う数理統計分野として知られる。比喩的な言い方をすれば、数量データを扱う上で基本となる「平均」という統計量は、多才な彩りあるグループの代表値として、「凡人」を扱うことを意味するのに対し、極値統計解析で扱う統計量は、データの「奇人・変人」を扱う分野である。もちろん、「平均」を扱う上でもデータのサイズ（すなわち、標本数）が多ければ多いほど、統計的に、より正確な議論が可能であるように、「極値」を議論する上でも、データサイズは多い方がよい。しかし、これがジレンマである。現象の発生が希少であるにもかかわらず、多くのデータが必要とは無理難題に近い。極値理論は、リスクを考える上で不可欠な概念であり、高潮問題も含め、最近では、その他の多くの応用分野の要請から、急激に理論的に発展しつつある分野である。

潮位変動の振動解析や極値データの解析は古くからの研究対象であるが、未解決な問題も数多く残されている。潮位の振動解析、すなわち、『調和分解』とは、長期間にわたる観測潮位を各分潮成分に分解することであるが、各成分から再合成したものを天文潮位とよび、その残差の主たるものを高潮による潮位偏差とみなしている。しかしながら、誤差項は、高潮という水理現象として自己相関のある時系列であるにも関わらず、古典的な従来法では、その誤差項をホワイト・ノイズとして扱うため、天文潮位やその分潮の振幅などについて、統計的な信頼区間を議論できない。これは、近年、諫早湾干拓の環境調査（宇野木，2003；武岡，2003）や IPCC などの地球温暖化による水位上昇問題（三村・原沢，2000）で検討されるように、平均潮位や主要分潮の振幅の経年変化について、沿岸開発事業などによる突発的な変化か、気候変動によるトレンド的な変化か、単なる統

計的誤差による変化か、いずれかを見極める上で致命的な問題である。また、『極値解析』の問題点は、上述したとおりのジレンマに対し、与えられたデータを最大限に有効に活用する方法を論じる必要がある。

本研究では、以上の問題点を解決するための統計手法の理論を開発し、具体的な解析を実行するための計算システムを構築することを目的としている。本稿を目にする読者は、海洋物理学や数理統計学の専門ではないことを考慮すれば、上記の問題点をさらに掘り下げた内容を記述して、読者を苦しめることは非常におこがましい。さいわいにも、昨年度は、潮位変動や希少性現象に関して、非専門家である高校生（名古屋工業大学開催の公開講座）ならびに大学生（金沢大学開催での特別講義）に講演する機会を得た。それらの講演資料も解析システムの一部であるとの観点から、講演資料を題材に本稿をとりまとめた。

## 2. 黒い月と、せまい海、そして、台風の脅威

昨年度の夏（2005年7月23日）に名古屋工業大学で行った公開講座の資料を付録1に示す。スライド（3, 4）に示すように、我々人類には、太陽と月という2つの天体の影響は計りしれない影響を与えられてきた。しかし、意外にも、それら2つの天体について、少し考えればわかることであっても、我々は日常的に意識をしていないものである。太陽と月は、空気存在と同じ立場であるのかもしれない。その観点で紹介しているのが、スライド（5, 6）の太陽についての問題である。太陽が東から昇って、西に沈む。毎日、この繰り返しが起こり、我々の1日を決めている。このようなことが起こるのは、地球が自転していることが主たる原因であるが、

“1年の間に地球は何回自転しているのでしょうか？”

スライド（3）に記載しているように、正確な1年は1日で割り切れない。ここでは、単純に、1年を365日として考えてみる。あるいは、もっと単純に言えば、

“1日 = 1回の自転でしょうか？”

となる。また、逆に言えば、

“1日の始まりから、地球が1回の自転をただけで、1日が終わるのでしょうか？”

と質問を言い換えることも可能である。スライド（6~8）は、その答えのヒントとして、少し問題を変えて、身近なコインで確認している。ここでは、その解答を図-1に示す。すなわち、1回転分の自転をしながら地球が移動するとき、地球の中心は点  $E_1$  から点  $E_2$  に移る場合を考える。この時、観測点  $A$  は、点  $A'$  に移動する。観測点  $A$  では、太陽が南中しているが、点  $A'$  ではそうではない。

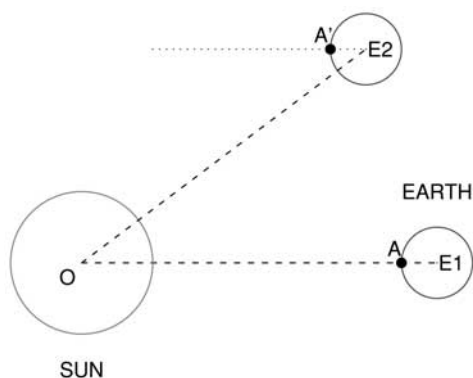


図-1 自転による1回転後の地球と太陽の関係

角度  $OE_2A'$  分だけ不足するのである。意外と我々は太陽に気にかけていないようである。月もかりである。

海岸工学分野では、海上工事にあたり、潮位の基準面を検討する必要がある。その基準面の1つに、朔望平均満潮位がある。これは、新月および満月の日から5日以内に観測された各月の最高満潮面を1年以上にわたり平均した海面の高さである。スライド(9~24)で議論しているのは、“朔望”という漢字の読み方である。意外に読めない。あるいは、正しく読めても、このような熟語があるのですか?という質問が沸き起こる。その解答については、公開講座という特性を活かし、学科のマスコット・キャラクターである、ゴキソ君、ツルマイさん、フキアゲ君(スライド(1)から、既に登場している)の会話を字幕として掲載し、“朔望”と潮位の関係についての力学的な解説も、スライド(27~29および31~34)で行っている。以上は、講演タイトルの“黒い海”に相当する。

高潮は、気圧の低下と、暴風による吹き寄せの2つの力学原因による現象であることは、各種の防災イベントでの紹介から、多くの人に周知されていると予想する。むしろ、高潮の発生する季節に、年間を通じて潮位が相対的に高いことは知られていないように感じる。公開講座では、時間の都合上、そのあたりの話題は割愛したが、名古屋工業大学・都市社会工学科で、今年度から開講する新カリキュラムでは、実際のデータ解析を行い、これを確認する作業を学部3年生が行う。資料2は、私の担当する水域防災工学の講義資料の一部分を抽出したものであり、これは昨年度に準備・作成ものである。設問1)は、潮位の調和解析の従来法に関する理論の骨幹を示すものである。これに基づいた解析法の実例として、設問3)および4)を出題している。なお、設問2)の解答では、前述の“朔望”と潮位の関係をデータを元に具体的に示す解説をしている。設問4)の解答における図-4に名古屋港の2000年の各月の平均潮位を示すように、相対的に秋の潮位は高い。そのため、調和解析における分潮は、1日に2回程度振動する高周期成分だけでなく、月数回、年数回の低周波数の振動成分も含まれる。そのため、実際の調和解析は、1年間(正確には、369日分、355日分、あるいは、326日分が好ましいとされる;村上, 1981)の潮位データを使用する。

話を公開講座に戻す。災害リスクに関する話題もとりあげた。一般市民を対象とする場合、“リスク”という抽象的な概念を説明することは難しい。今回は、高校生という対象であるので、多少の数学を使うことは許されると考えた。スライド(46~49)では、太陽と月からの話題である暦について、話題を引きずっているように見える(話の展開としては、そのとおりである)が、実はそうではない。隠された内容がある。それは、次式に示す数学公式である。

$$\log(1+x)=x, \quad \text{for } x=0 \quad (1)$$

スライド(50~55)に示すように、災害のリスクに関する特性として、災害の発生する時間間隔、すなわち、災害の周期の確率分布を論じている。高潮や高波などの水域災害は、低気圧の来襲により発生するため、異なる低気圧を原因とする水域災害は、互いに独立と考えて差し支えない。この点は、地震災害とは異なる点である。地震災害は、前回の地震のエネルギーが全て放出されたか、あるいは、その一部が放出されずにいたか、という点や、地殻の歪みについて時々刻々の履歴を積分する必要のある、“記憶性のある確率過程”を用いるのに対し、“記憶性のない確率過程”として、水域災害を扱うことができる。この場合、災害の周期分布は、幾何分布(スライド(50)のように、時間を升目に区切って離散量として扱う場合)、あるいは、指数分布(時間を連続量として扱う場

合)として表される。これに対し、地震災害の分布の1つの例は、指数分布を拡張したガンマ分布である。図-2は、両者の分布を描いたものであり、両者の分布の大きな違いは、ガンマ分布にはピークがあるのに対し、指数分布には、ピークがない。すなわち、東海地震のように、前回の地震発生から数えて、 $X$ 年後に起こる確率が $Y$ であると表現できるのは、確率分布にピークが存在するためである。それに対して、水域災害は、その発生間隔の平均付近の確率は、災害発生直後に引き続いて生じる場合の確率より小さいのである。このような確率特性が、一般市民が水域災害を認識する妨げになっているようである。

さて、災害は、周期よりも、むしろ、その規模が重要である。高潮の場合は潮位偏差（あるいは、潮位そのものを用いる場合もある）で、高波の場合は波高で、水域災害の規模を計る。極値分布をガンベル分布とした場合には、発生確率 $Q$ に対し、水域災害の規模 $q$ は、次式のように表される。

$$q = -\log(-\log(1+Q)) \quad (2)$$

ただし、スライド(55)に示すとおり、災害の規模 $q$ は、実際の潮位や波高 $H$ のそのものの値ではなく、実際の値 $H$ と線形関係があり、次式の線形係数 $\mu$ および $\sigma$ は、データにより統計解析を経て、決定されるのである。

$$H = \mu + \sigma q \quad (3)$$

ところで、災害の発生率 $Q$ と平均災害周期 $R$ は、

$$Q = \frac{1}{R} \quad (4)$$

という関係がある(スライド(51)を参照)ので、式(1)の近似公式を用いれば、次式のように、水域災害の規模 $q$ と平均災害周期 $R$ が理解しやすい式で与えられる。

$$q \approx \log R \quad (5)$$

この関係を用いれば、どの程度の災害が、どの程度の頻度で生じるかがわかるのである。ただし、前述のとおり、周期の分布にはピークがないため、平均周期という言葉は、誤解を与えやすい。そのため、平均周期のことを、再現期間(英語では、return periodといい、mean periodを使わない)という用語を用いている。このような事情は、我々の扱う専門書にもわざわざ明記されることは皆無であり(少なくとも当方が調べた限りでは、その記述はなかった;北野・高橋, 2006), 専門家も自覚していない、という点では特筆に値する。

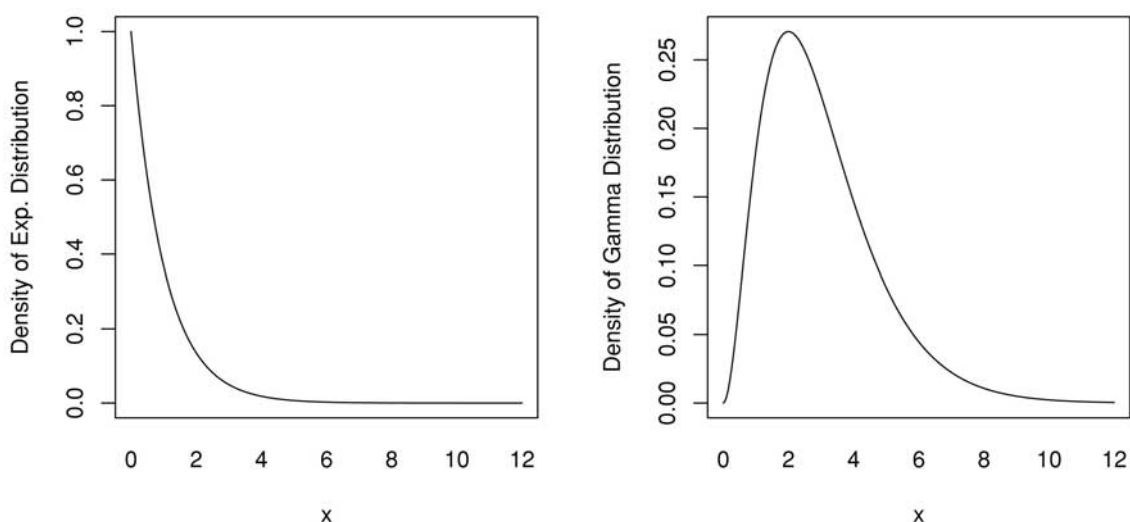


図-2 指数分布(左図)とガンマ分布(右図)

### 3. 台風要因とそれ以外の要因による極大波高分布の相違

昨年の冬（2005年12月9日）に金沢大学・角間キャンパスで行われたセミナーで講演した資料を資料3に示す。聴衆者（大学生および大学院生）の興味を冒頭で引き寄せるために、ニュートンとアインシュタインの力を借りた。話は、ニュートンとアインシュタインの人類への貢献度である。これは、特殊相対性理論の発表から100周年に相当する昨年11月末に、英王立協会が科学者と非科学者という2つの集団にアンケートしたものであり、その回答結果をさっそくにとりあげたのである。数理統計の観点から問題となるのは、

検討A： 科学者と一般人で見解の相似は見られるか？

という問題があげられる。この検討は、

検討B： ニュートン派とアインシュタイン派の（科学者／一般人）の構成比が異なるか？

という問題と、実は同等である。このことを具体的に示すとともに、ニュートンとアインシュタイン、科学者と一般人という関係に、相関係数を導入できることを示したのである。いわゆる相関係数は、資料3の次の話題のように、年齢と体脂肪率との関係のように、数量データで論じることが多い。ここで取り上げているようなカテゴリカルなデータに相関係数を導入することは、思いもよらない発想のようである。なお、本論と関係するのは、2つの集団が同一とみなせるか、否かという議論の基本形であるという観点である。なお、朝日新聞の天声人語にも、この興味深い話題は見逃さなかった。2005年12月17日の天声人語に、この偉大な2人の科学者をしのぶ記事を書いていることを後日談として付記する（資料4）。

資料3の例2)は、年齢と体脂肪率との関係である。図中の回帰直線が示すとおり、年齢の増加とともに、体脂肪率も増加する。この点では、回帰直線は比較的説明できている。ここで、データに性別情報があれば、図-3のように示すことができる。図中のMは男性の、Fは女性のデータを表し、実線は男性の、破線は女性の回帰直線を表す。性別毎の回帰直線は、性別を区別しない回帰線に比べて、データをより良く説明しており、回帰直線から乖離するばらつき量、すなわち、残差が少ないことは図から十分に理解できる。この時に数理統計学の観点で検討対象となるのは、回帰直線の勾配が等しいか否かであり、勾配が等しいならば、切片が同一か異なるか、という検討である。すなわち、図-3は、性別を共変量とした共分散解析の結果を表していることになる。検討事項は、

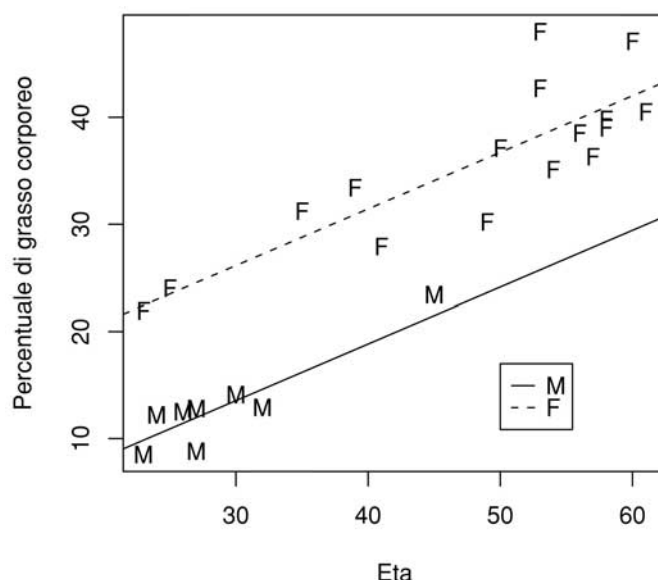


図-3 性別を共変量とした体脂肪率と年齢の関係

ANOVA 解析により判別される。この場合は、年齢による体脂肪率の増大率（＝勾配）は、性別に共通であるが、男性と女性により、本来、体脂肪率に違いがあるため、回帰直線の切片は異なることをデータからも結論付けられる。

さて、極値解析についても、上述の議論ができることを解説することが、この講演会の本題である。ガンベル分布から定まる災害規模  $q$  と高波の波高  $H$  は、式(3)に示すとおり、線形関係にある。高波を台風要因のものと、そうでない要因に分類すれば、直線が2本得られる。その直線の勾配と切片について、体脂肪率と年齢の関係で見たような議論は可能である。ただし、体脂肪率の個体差は、正規分布に従うものと仮定されているもとの議論であるが、ここでは、高波の極大値であり、正規分布に従う量ではないことから、理論の体系としては、全く異なるものとなる。図中の点線が直線を示し、そのようにも見えるという点で、図中には、実線の曲線も示している。したがって、この図中で、直線となるか、あるいは、曲線となるのか、という議論も必要であることから、体脂肪率の解析と全く異なる理論展開となることは、うかがえよう。もし、曲線となれば、別の平面で直線となるように調整して、要因別の議論をすることになる。名瀬港（沖縄県）の場合、図中の直線（点線）が正当化され、台風要因とそうでない要因による高波は、代表値は異なるが、分布形状は共通であることがわかった。

#### 4. あとがき

本研究では、他に、1年を通して季節的に連続量として変化するものとして要因を扱い、アラスカ沖での高波の極値解析も行った。3.に示す名瀬港は、資料3に示すように、季節的な変化というより、台風による要因とそれ以外の要因に分けられる。アラスカ沖の海域では、台風は来襲せず、また、台風のように明確に区別できない中型から大型の低気圧が冬期に発生する海域では、年間の発生時期という連続量を共変量に扱う必要があることを明らかにした。これについては、別の機会に公表する予定である。

なお、潮位の調和解析のプログラムや、資料の全体については、以下のウェブ・サイトからダウンロードできるように準備をしている。

<http://www.cm.nitech.ac.jp/tk/>

謝辞：本研究は、日比科学技術振興財団の教育・学術研究助成（平成17年度）によるものであり、ここに謝意を表す。

#### 参考文献

宇野木早苗 (2003): 有明海の潮汐と潮流はなぜ減少したか, 海の研究, 第12巻, pp.85-96.

北野利一・高橋倫也 (2006): pearsonal communication at 5/29/2006.

武岡英夫 (2003): 有明海における M2 潮汐の変化に関する論議へのコメント, 沿岸海洋研究ノート, 第41巻, 第1号, pp.61-64.

三村信男・原沢英夫 (編集) (2000): 海面上昇ハンドブック 2000, 環境庁 国立環境研究所 地球環境研究センター, 128p.

村上和男 (1981): 最小自乗法による潮汐・潮流の調和分解とその精度, 港湾技研資料, No. 369, 38p.

平成17年度公開講座(2005年7月23日)  
名古屋工業大学 24号館 A1教室

# 黒い月と

せまい海, そして,  
台風の脅威



名古屋工業大学 都市社会工学科  
環境都市系プログラム

1 北野 利一 (kitano@nitech.ac.jp)

古代, 日数を数えるのに,  
太陽年(365.2422日)  
では長過ぎた。  
手頃な長さとして,  
朔望月(29.53059日)  
があった。これが,  
暦(Calendar)のはじまり  
です。

4

はげしいむし歯のいたみから、  
ふくれあがった頬つべたをかかえながら、  
わたしは栗の木の下を掘つてみた、  
なにかの草の種を蒔こうとして、  
きやしやの指を泥だらけにしなが  
ら、  
つめたい地べたを掘つくりかへした、  
ああ、わたしはそれをおぼえている、  
うすらさむい日のくれがたに、  
まあたらしい穴の下で、  
ちる、ちる、とみみずがうごいてみた、  
そのとき低い建物のうしろから、  
まつしろい女の耳を、  
つるつるとなでるやうに月があがった、  
月があがった。

## 白い月

萩原 朔太郎

2

### 問題1)

1 太陽年 = 365.2422日  
地動説と天動説ではないけれど、  
1太陽年の間に、  
地球は何回、自転しているの  
だろうか？

1日 = 1回の自転、ですか？  
(太陽日/恒星日)

5

Binary Values: 世の中を2つに分けて  
考えることが多くありませんか？

白/黒, 男/女, 老/若, On/Off,  
TRUE/FALSE (Logical Values),  
山の幸/海の幸, 和風/洋風, まいう/ずいま,  
右/左, 右派/左派, 苦/楽, 善/悪,  
copyright/copyleft, 天/地, 陰/陽,  
Positive/Negative, そして,

太陽/月.

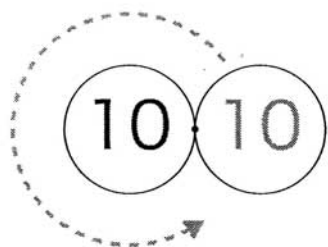
3

### 問題1) オマケ

2つの10円玉を用意ください。

固定した10円玉(太陽)に接し  
ながら、もう1つの10円玉(地球)  
が回転移動する時、もとの位置に  
戻るまでに、“10”という文字は  
何回転しますか？

6

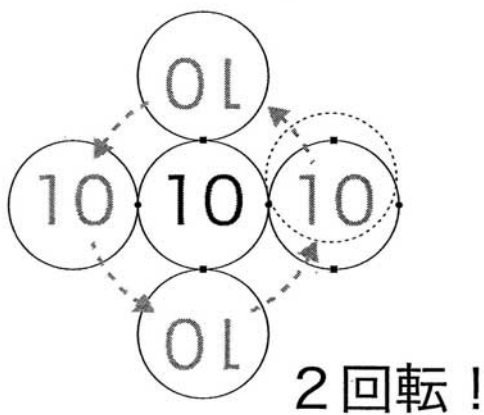


7

朔望

ツ: “月が1ツづつ見えるね”

10



8

朔望

フ: “1つを黒い月,  
もう1つを白い月としよう”

11

朔望

ゴ: “サクボウとよむ”

9

朔望

フ: “...”

12



朔望

ゴ：“何が始まっているの？”

13

月

ゴ：“お、かすかに出てきた！”

16

月月

ツ：“... どちらもキレイ！”

14

朔

フ：“だんだん見えてきたぞう”

17

月

フ：“1つの月は見えなくなったぞう、  
もう1つはよく見えるけど”

15

朔

ツ：“ア、オマケがついてル！”

18

溯る

19

ツ：“コレ、何ってよむの？ねえ”

月

22

フ：“もう1つの輝く月！”

朔

20

フ：“もひとつオマケが、...”

望

23

ゴ：“ボウの月だね”

逆る

21

ツ：“これは、よめるでしょ”  
ゴ：“そうか、サクは、...なるほど！”

眺観希

ツ：“ボウは、...なるほどネ”

望

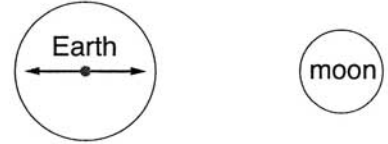
月遠郷

# 潮汐

フ：“あれれ？この漢字コーナーは、  
まだつづくの？”

25

地球の中心で、  
“引力” = “遠心力” が成立



月の引力により、地球が月にどんどん近づいて衝突する、  
ということがないのは、遠心力も作用しているからです。  
地球の中心では、“引力”と“遠心力”が釣り合います。  
月の中心でも同じように、“引力” = “遠心力”となります。

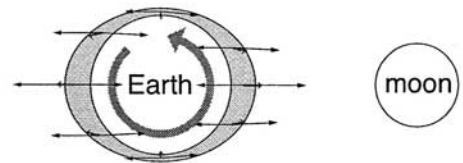
28

# 潮汐

ゴ：“サンズイが1つずつあるね”  
ツ：“... もう十分！！”

26

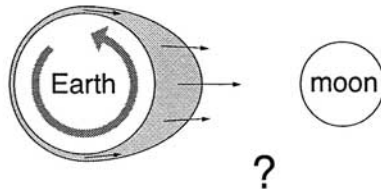
“引力”と“遠心力”の釣り合いは、地球の中心でのみ成立し、  
他の地点では、いずれかの力が大きいワケです。



“引力”と“遠心力”の差が、“起潮力”となって、  
月に面した水位と、その反対側の水面が上昇します。  
その結果、地球の自転とともに、1日約2回、  
水面の変動を感じる訳です

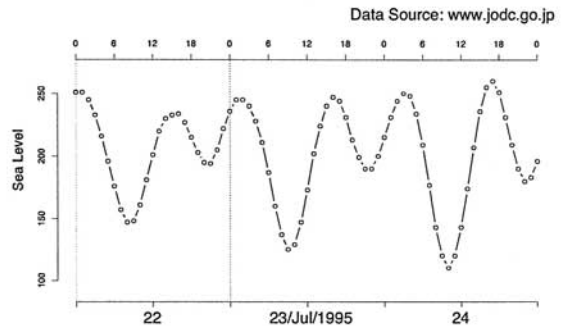
29

月の引力で海面が引き寄せられるのならば、  
このように海面の上昇と下降が起こるはずですが、  
そして、地球は1日に1回転の自転をするので、  
潮汐も1日に1回の振動になるはずですが（アレレ?!）。



27

潮位の実況：1995年7月22～24日



30

(10年前、あなたは何をしていましたか?)

“望”の時、  
月による起潮力に加え、太陽による起潮力が加わり、  
水位の変動幅は、最も大きくなります。

Sun

Earth

moon

31

大潮

### 月による潮汐と太陽による潮汐

$$(\text{起潮力}) \propto (\text{質量}) / (\text{距離})^3$$

(月の質量)/(地球の質量) = 1.2/100; (太陽の質量)/(地球の質量) = 3.3\*10<sup>5</sup>  
 (太陽から地球までの距離)/(月から地球までの距離) = 3.8\*100

$$(\text{太陽の起潮力}) / (\text{月の起潮力}) = 46\%$$

(比較):  $(\text{引力}) \propto (\text{質量}) / (\text{距離})^2$

$$(\text{太陽の引力}) / (\text{月の引力}) = 190 \text{ 倍}$$

34

半月の時には、月による起潮力を、太陽による起潮力が弱め、  
水位の変動幅は、  
もっとも小さくなります。

Sun

Earth

moon

32

小潮

### 主要4分潮

周期

|                |           |         |
|----------------|-----------|---------|
| M <sub>2</sub> | : 主太陰半日周潮 | 12.42 h |
| S <sub>2</sub> | : 主太陽半日周潮 | 12.00 h |
| K <sub>1</sub> | : 日月合成日周潮 | 23.93 h |
| O <sub>1</sub> | : 主太陰日周潮  | 25.82 h |

名古屋の場合 (振幅の単位は, cm)

$$M_2 = 65.7; S_2 = 30.8; K_1 = 24.2; O_1 = 18.1$$

35

“朔”の時、再び、水位の変動幅が最も大きくなります。

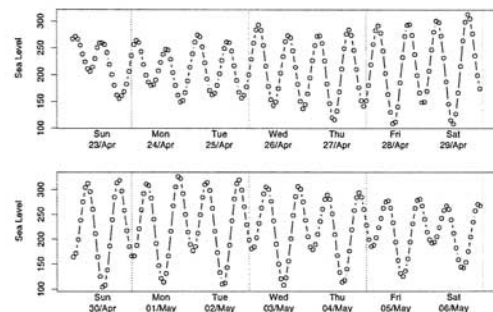
Sun

Earth

moon

33

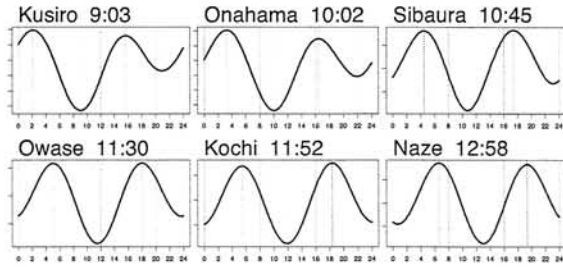
大潮



36

春は、楽しい潮干狩りの季節です。

Tidal Curve Prediction: 29 - Apr - 1995

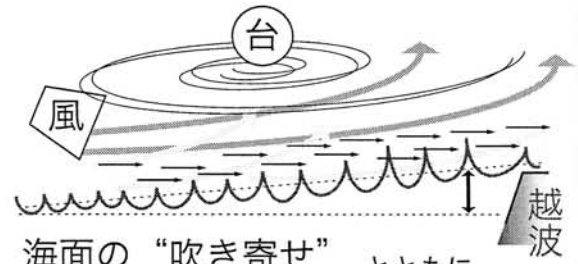


干潮時刻は、東から西に移動します。

日本列島がもう少し東/西にあったなら、  
“潮干狩り文化” がなかったのかもしれない。

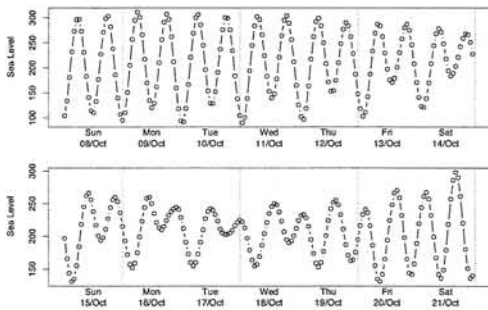
37

暴風 ( $U^2$ ) により、



海面の“吹き寄せ”とともに、  
高波が来襲する

40



秋は、潮干狩りに向きません。  
むしろ、台風の脅威が迫ってきます。

38

地震により生じる大規模な海面上昇は、津波。  
台風により生じる大規模な海面上昇は、高潮。  
あるいは、風津波ともいわれます。  
満潮時刻と重なると、大災害になる。

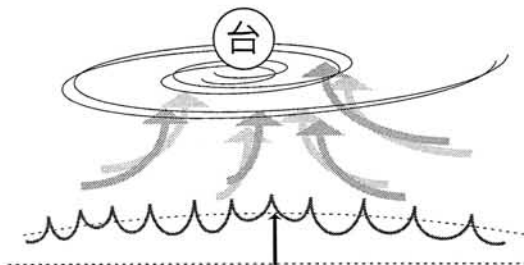
また、このような海面上昇が、

**せまい海** へ侵入すると、さらに危険です！

せまい海での海面上昇の増幅率は、...

41

気圧低下 ( $\Delta p$ ) による



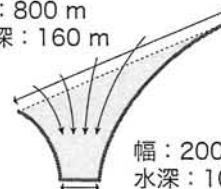
海面の“吸い上げ”

39

Green の法則

$$(\text{津波による水位上昇量}) = (\text{水深比})^{-1/4} * (\text{湾幅比})^{-1/2}$$

幅：800 m  
水深：160 m



湾口で 1 m の津波は、  
湾奥で 4 m に増幅！  
ビックリ！

幅：200 m  
水深：10 m

42

高潮による水位上昇量  $\Delta h$  は、  
湾に固有な定数  $a$  と  $b$  を用いて、  
気圧低下量  $\Delta p$  と風速  $U$  による  
経験的な関係が成立する（簡便法）。

$$\Delta h = a * \Delta p + b * U^2 * \cos \Delta \theta$$

名古屋港：

$$a = 2.961, b = 0.119, \theta_0 = S33^\circ E$$

43

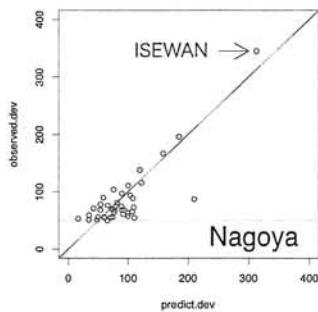
ところで、  
古代人は、何の目的で、暦が必要だったのであるうか？

問題 2)

50 名のクラスにて、  
誕生日が同じ月日の人は、  
いますか？

“偶然” にも、規則があります。

46



伊勢湾台風時、  
 $\Delta p = 958$  hPa、  
 $U = 37$  m/s、  
 $\theta = SSE$ 、  
[  $\Delta h = 345$  cm ]

$$\Delta h = 2.961 * 52 + 0.119 * 37^2 * 0.983$$

$$= 152.5 + 160.2 = 313 \text{ (cm)}$$

44

2人のクラスで、同じ誕生日の可能性：

$$1 - (1 - \frac{1}{365}) = 0.00274 \dots$$

3人のクラスでは、

$$1 - (1 - \frac{1}{365})(1 - \frac{2}{365}) = 0.00820 \dots$$

50人のクラスでは、

$$1 - (1 - \frac{1}{365})(1 - \frac{2}{365}) \dots (1 - \frac{49}{365})$$

$$= 0.970 \dots$$

47 同じ誕生日のペアが現れる可能性は、十分に高い！

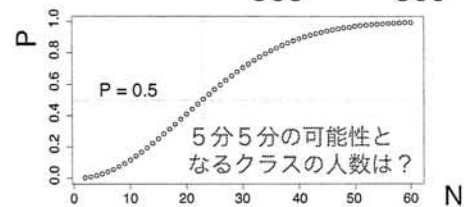


45

N 人のクラスでは、

$$1 - (1 - \frac{1}{365})(1 - \frac{2}{365}) \dots$$

$$\dots (1 - \frac{N-2}{365})(1 - \frac{N-1}{365}) = P$$



48

上式は、N を与えて P を得る式である。  
P を与えて N を得る式が欲しい、...

$$\sum_{k=1}^{N-1} \log\left(1 - \frac{k}{365}\right) = \log(1-P)$$

$$(左辺) \doteq -\frac{\sum k}{365} = \frac{-1}{365} \frac{N(N-1)}{2} \doteq \frac{-N^2}{2 \times 365}$$

よって,

$$N \doteq \sqrt{2 \times 365 \times \log(1/(1-P))}$$

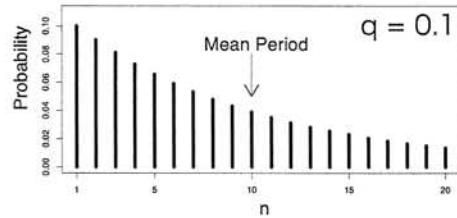
となる。ここで、十分に小さな X に対して,

$$\log(1-x) \doteq -x$$

が成立することを利用した、P = 0.5 を代入すれば、以下を得る。

49  $N \doteq \sqrt{2 \times 365 \times 0.693 \dots} \doteq 22.49$  (人)

災害の発生間隔の分布は、平均周期付近でピークをもつ分布ではない！



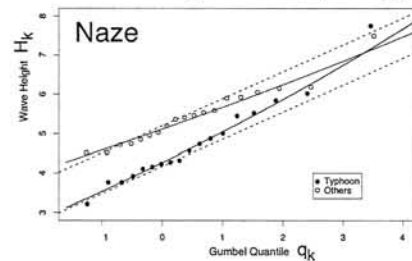
災害の直後にも、災害が起こることも多い！

52

| Event  | Prob.                  | Run   |
|--|------------------------|-------|
| O  | ... p                  |       |
| X  | ... q (=1-p)           | ... 1 |
| OX   | ... pq                 | ... 2 |
| OOX  | ... p <sup>2</sup> q   | ... 3 |
| OOOX   | ... p <sup>3</sup> q   | ... 4 |
| $\underbrace{\text{OOO} \dots \text{OOX}}_{(n-1)}$ | ... p <sup>n-1</sup> q | ... n |

50

来襲高波の分布 ~ 極値分布：  
 $q_k = -\log(-\log(1-Q_k))$



大きい順に波高 H<sub>k</sub> に確率 Q<sub>k</sub> (=  $\frac{k}{N+1}$ ) を割り付ける。多くの場合、ある直線上に点 (H<sub>k</sub>, q<sub>k</sub>) は配置される。

53

災害の平均周期:

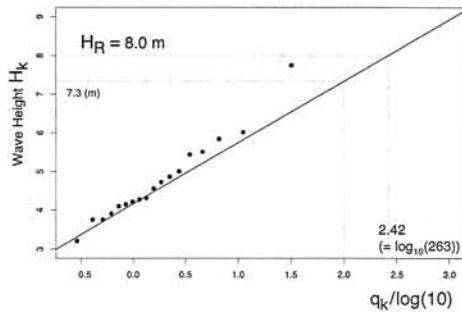
$$\begin{aligned} \text{mean} &= q + 2pq + 3p^2q + \dots + np^{n-1}q + \dots \\ &= q * (1 + 2p + 3p^2 + \dots + np^{n-1} + \dots) \\ &= q * \frac{d}{dp} (p + p^2 + \dots + p^n + \dots) \\ &= q * \frac{d}{dp} \left( \frac{1}{1-p} - 1 \right) \quad [p^k = \infty \text{ for } k = \infty] \\ &= q * \frac{1}{(1-p)^2} = \frac{1}{q} \quad [1-p=q] \\ 51 \quad &= \text{(1期あたりの災害発生率の逆数)} \end{aligned}$$

(1年あたりの災害の確率の逆数) = (災害の平均周期) であつたので、高波災害の平均周期 R の逆数を 1年あたりの高波災害の確率とすれば、

$$q_R = -\log(-\log(1 - \frac{1}{R})) \doteq \log R$$

と近似できる。したがって、ある波高 H<sub>R</sub> が与えられた時、対応する q<sub>R</sub> を読みとれば、波高 H<sub>R</sub> の来襲する平均周期がわかる。

54 この平均周期を、再現期間 とよぶ。



$H_R = 8$  m の高波に対して、 $q_k/\log(10) = 2.42$  であるので、その再現期間は、約 263 年である。

55

まとめ：

- 1) 朔望と潮汐
- 2) 台風による気圧低下（吸い上げ）、暴風（吹き寄せ）により高潮発生。それに伴い、高波も来襲する。沿岸域では、越波災害も発生。
- 3) 湾（＝せまい海）に高潮や津波が侵入すると、海面上昇は、さらに増幅される。
- 4) 災害の頻度は、再現期間で表現。

56

参考文献 および もっと知りたい人のための図書案内

- 伊藤新吉(編)(1963): 萩原朔太郎詩集, 世界の詩 8, 弥生書房, 184p.  
 内田正男(1981): こよみと天文・今昔, 理科年表読本, 丸善, 184p.  
 合田良実(1998): 海岸・港湾 二訂版, わかり易い土木講座 17, 彰国社, 321p.  
 合田良実(監修)(2002): 潮位を測る [潮位観測の手引き], 沿岸開発技術ライブラリー No.13, (財)沿岸開発技術研究センター, 188p.  
 佐野宏哉(会長)(1997): 日本の渚・百選, 「日本の渚・百選」中央委員会 編, 成山堂書店, 116p.  
 鳥羽良明(委員長)(2003): 海を学ぼう - 身近な実験と観察 -, 日本海洋学会『海を学ぼう』編集委員会編, 東北大学出版会, 65p.  
 中野猿人(1940): 潮汐学 潮汐の調和分解と予報, 古昔書院 (生産技術センター, 1975, 復刻版発行), 528p.

57

- 長沢 工(1999): 日の出・日の入りの計算, 天体の出没時刻の求め方 地人書館, 160p.  
 中村庸夫(2002): 海の名前, 東京書籍, 207p.  
 永田 豊・彦坂繁雄・宮崎正衛(1971): 海洋物理 (III), 東海大学出版会, 331p.  
 永田 豊(1990): ハワイの波は南極から - 海の波の不思議 -, 丸善, 152p.  
 原田知篤(2005): 潮干狩り その楽しみ方・貝の知識から俳句・歴史まで, 文葉社, 224p.  
 松原 望・縄田和満・中井検裕 (1991): 統計学入門, 基礎統計学 I, 東京大学教養学部統計学教室編, 東京大学出版会, 307p.  
 宮崎正衛(2003): 高潮の研究, 成山堂書店, 134p.  
 Diaconis, P. and F. Mosteller (1989): Methods for studying coincidences, Journal American Statistical Association, Vol. 84, No. 408, pp.853-861.

58

- Godin, G. (1972) : The Analysis of Tides, Liverpool University Press., 264p.  
 Lieber, A. L. (1978): The Lunar Effect - Biological Tides and Human Emotions (藤原正彦・藤原美子 訳, 月の魔力, バイオタイドと人間の感情, 東京書籍, 1984, 238p.)

- 青空文庫: <http://www.aozora.gr.jp/>  
<http://www.aozora.gr.jp/cards/000067/card859.html>  
 気象庁: 海洋の情報, <http://www.data.kishou.go.jp/marine/>  
 国土地理院の駿潮: <http://tide.gsi.go.jp/>  
 国土交通省中部地方整備局: 名古屋港湾事務所のあらし, <http://www.nagoya.pa.cbr.mlit.go.jp/library/pamph.html>  
 日本海洋データセンター: 潮汐観測(毎時潮高)データ [http://www.jodc.go.jp/data/tide/sea-level\\_j.html](http://www.jodc.go.jp/data/tide/sea-level_j.html)  
 XTide (Harmonic tide clock and tide predictor) : <http://www.flaterco.com/xtide/>

59



fin

copyright © 2005 by T. Kitano

- フ: "1日に約1.002738回転, したがって, 1日は自転周期より4分ほど長いワケだ!"  
 ゴ: "つまり, 自転数 - 1 = 1年の日数だからね"  
 ツ: "それって, ソンしているってこと?"  
 それとも, トクなの?"  
 ゴ: "..."

60



## 資料(2) 水域防災工学資料

### ■ 調和分解とスペクトル

- 1) 最小自乗法による回帰係数の算出法を説明せよ。  
ただし、標本サイズを  $n$  とし、被説明変量  $y_i (i=1 \sim n)$  を  $m$  個の説明変量  $x_{ij} (j=1 \sim m)$  と回帰係数  $\beta_j$  を用いて検討することを考える。なお、被説明変量  $y_i$  および回帰係数  $\beta_j$  をベクトル  $\mathbf{y}$  および  $\boldsymbol{\beta}$  で表し、説明変量  $x_{ij}$  を行列  $\mathbf{X}$  で表すと便利である。
- 2) 名古屋港における 2000 年 1 月 1 日から 2 週間の潮位データを図示せよ。
- 3) 上記の潮位データを用いて、主要 4 分潮の大きさを求めよ。
- 4) 名古屋港の 2000 年の潮位データを用い、月平均潮位を求めよ。
- 5) 3次元空間における直交座標系は、1つに限らない。一般には、3つの単位ベクトルを

$$\bar{e}_1 = \begin{pmatrix} 1 \\ 0 \\ 0 \end{pmatrix}, \bar{e}_2 = \begin{pmatrix} 0 \\ 1 \\ 0 \end{pmatrix}, \bar{e}_3 = \begin{pmatrix} 0 \\ 0 \\ 1 \end{pmatrix} \quad (1)$$

とする直交座標系を用いる。ただし、これは、他の無数にある直交系の1つに過ぎない。すなわち、直交する単位ベクトル（これを、正規直交ベクトルという）の組を他に無数に選ぶことができるはずである。それでは、次のような正規直交ベクトルを求めてみよう。

単位ベクトル  $\bar{e}_1^*$  は、ベクトル  $\bar{a} = (1, 2, 3)'$  に平行にとり、単位ベクトル  $\bar{e}_2^*$  は、ベクトル  $\bar{b} = (4, 5, 6)'$  との内積が最大となるようにとること。なお、横ベクトル  $x$  に対して、 $x'$  は縦ベクトルを表す。つまり、ダッシュは転置を表す記号である。

また、単位ベクトル  $\bar{e}_{i=1 \sim 3}^*$  を用いれば、ベクトル  $\bar{c} = (7, 9, 8)'$  は、どのように表されるか？

- 6) 次式の3つの積分を考える。

$$I_1 = \frac{1}{T} \int_0^T \cos \sigma_1 t \cos \sigma_2 t dt \quad (2)$$

$$I_2 = \frac{1}{T} \int_0^T \sin \sigma_1 t \sin \sigma_2 t dt \quad (3)$$

$$I_3 = \frac{1}{T} \int_0^T \sin \sigma_1 t \cos \sigma_2 t dt \quad (4)$$

- a) 積分範囲  $T$  に対し、次式を満たすように角周波数  $\sigma_{k=1,2}$  をとれば、積分  $I_{l=1,2,3}$  の値は、いくらとなるか？（ $\sigma_{k=1,2}$  は、同一の値  $\sigma_0$  をとり、積分範囲でキツカリ 1 回だけ振動する角周波数である）

$$\sigma_1 = \sigma_2 = 2\pi/T \quad (= \sigma_0) \quad (5)$$

- b) 次式により（ $m, n$  は異なる自然数）、角周波数  $\sigma_{k=1,2}$  が与えられる時、積分  $I_{l=1,2,3}$  の値は、いくらとなるか？（ $\sigma_{k=1,2}$  は、異なる値をとり、積分範囲でキツカリ  $m$  と  $n$  回だけ振動する角周波数である）

$$\sigma_1 = 2\pi m/T, \quad \sigma_2 = 2\pi n/T \quad (m \neq n) \quad (6)$$

- c) 任意の角周波数  $\sigma_{k=1,2}$  に対して、任意の積分範囲で積分  $I_{l=1,2,3}$  を考える場合には、どうなるか？

- 7) 範囲  $0 < t < T$  で定義される、ある関数  $f$  が次式のように書き表わされる時、その係数  $a_k$  および  $b_k$  ( $k=0, 1, 2, \dots, \infty$ ) を求めよ。

$$f(t) = a_0 + \sum_{k=1}^{\infty} (a_k \cos \sigma_k t + b_k \sin \sigma_k t), \quad \sigma_k = 2\pi k/T \quad (7)$$

8) 次式に示す関数を前問の関数  $f$  とする時、式(7)における係数  $a_k$  および  $b_k$  を求めよ。

$$f(t) = t, \quad 0 < t < T \quad (8)$$

9) あなたの計算機環境における FFT のルーチンを用いて、次の数列に対する出力結果を示せ。

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

なお、FFT のルーチンとは、連続関数  $f(t)$  の代わりに数列  $f(t_0 + n\Delta t)$ ,  $n = 0 \sim (N-1)$  を対象に、式(7)における係数  $a_k$  および  $b_k$  を求めるために必要な結果を与えるプログラムである（下線部が変な言い回しになっているのは、正確に言ったからであり、FFT のルーチンは、係数  $a_k$  および  $b_k$  そのものを算出するものではないことを言っているワケです）。

10) 図-1 は、三角関数を等間隔の時刻で計測した記録である。いくつの波が見えますか？

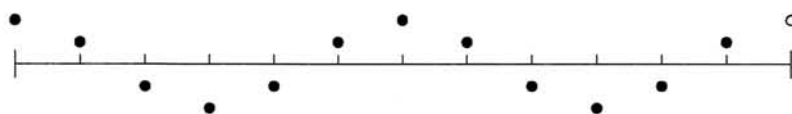


図-1 視力検査 (?!)

11) 名古屋港を例に、1日間の潮位記録に対して、FFT のルーチンを用いて、スペクトルを求めよ。また、連続する2日間および2週間の潮位記録に対しても、スペクトルを求め、1日間のものと比較せよ。なお、スペクトルとは、端的に言えば、式(7)の右辺の表現であり、本問は、その図示の検討である。

12) 水域防災工学の成績について、50人分と200人分の架空データを作成し、ヒストグラムを描け。

13) スペクトル解析におけるエネルギー密度の単位は？

14) FFT を用いて、下記のような適当な時系列を題材に、周波数スペクトルを図示せよ。

```
UNIX> cat examplewaves.txt | column -x | less
-0.6671012      -0.8163042      -0.910189       -1.052521       -1.139907
-1.104542      -1.020315       -0.8992421     -0.7733919     -0.6449788
-0.5364202     -0.4046849     -0.2225413     0.004622992    0.2504878
0.5128526      0.7877356       0.9634399      1.031228       1.037817
1.006578       0.9710443       1.006339       1.075349       1.166497
1.188395       1.148453        1.145067       1.077475       0.9860885
0.8261786      0.674116        0.5177846     0.2795968     -0.09407163
-0.4494395     -0.6950647     -0.8727583    -0.9457991    -0.9091944
-0.7825523     -0.6210156     -0.556944     -0.6078151    -0.702125
-0.8891466     -1.03455        -1.133317     -1.165569     -1.231912
-1.388340      -1.493346       -1.507497     -1.481300     -1.268255
:
```

ただし、この時系列は、時間間隔 0.03125 で計測されたものであり、時間および変位はともに無次元量である。

15) 前問の時系列の全エネルギーを求めよ。

16) 前前問の時系列に対して、平均周波数  $f_m$  およびゼロクロス周波数  $f_z$  を求めよ。

◆ 宿題 ◆ 以上の設問とその解答例を熟読し、その理解の確認のために、君の出身地に近い港の、君の誕生日に近い、ある1日の潮位記録について、調和解析とスペクトル解析を行い、その結果を図示せよ。（下線部は、個人情報保護法に対する考慮を主な目的としているが、もう一つ理由がある。欠測のあるデータは、調和解析は可能であるが、FFT によるスペクトル解析は基本的にできないからだ。また、たったの1日=データ長24としているのは、電卓程度の手計算で検算可能とすることを意図している。計算環境は、R を推奨するが、Excel でも構わないし、伝統的な FORTRAN や C でもよい。）

## ■ 調和分解とスペクトル 【解答】

1)  $m$  個の説明変量  $x_{j=1\sim m}$  の線形和で、被説明変数  $y$  を表現する統計モデルを考える。すなわち、このモデルを式で表せば、

$$y = \beta_0 + \sum_{j=1\sim m} \beta_j x_j + \varepsilon \quad (1)$$

となる。ここで、 $\varepsilon$  は誤差を表す。また、回帰係数  $\beta_0$  は、定数項の係数を表す。

標本が与えられた時、誤差を最小にするためには、

$$\frac{\partial}{\partial \beta} |y - X\beta|^2 = X'(y - X\beta) = \mathbf{0} \quad (2)$$

となる必要がある。これを解いて、次式に示す  $\hat{\beta}$  として、回帰係数  $\beta$  を推定することができる。

$$\hat{\beta} = (X'X)^{-1} X'y \quad (3)$$

このような回帰係数の決定法を最小自乗法とよび、被説明変数  $y$  の推定量（説明変数  $X$  による予測量） $X\hat{\beta}$  を原データ  $y$  から差引いた量  $y - X\hat{\beta}$  ( $= e$  とおく) を残差という（注：式(1)に推定量  $\hat{\beta}$  を代入した時、 $\varepsilon$  に相当する量はもはや誤差とは言わない）。また、式(2)は正規方程式とよばれる。

2) 日本海洋データセンター (<http://www.jodc.go.jp/>) にアクセスし、日本沿岸域の潮汐観測（毎時潮高）データを入力することができる（入手時には、使用目的および使用者の所属などの必要事項を必ず記入すること）。名古屋港の2000年のデータは、次のようなものである。

```
MA22,00/01/01,205,223,233,231,217,198,181,172,173,183,197,213,230,243,247,241,226,204,180,157,140,131,136,155
MA22,00/01/02,180,208,231,244,245,233,214,195,184,183,193,209,228,246,261,267,261,244,216,183,155,136,133,145
MA22,00/01/03,170,200,231,255,268,267,253,230,208,193,189,196,211,230,252,269,273,260,234,197,156,123,107,110
MA22,00/01/04,132,165,201,232,256,267,263,241,212,186,170,168,181,204,228,250,264,263,242,207,166,126,099,090
MA22,00/01/05,102,130,169,210,246,269,276,264,236,203,175,162,167,188,219,251,273,280,267,238,196,151,113,091
MA22,00/01/06,089,110,148,193,235,269,287,286,266,233,197,172,167,181,210,243,272,290,290,269,231,184,140,108
MA22,00/01/07,096,106,138,181,226,265,292,302,289,255,212,177,158,160,181,215,249,273,281,271,242,197,149,108
MA22,00/01/08,081,077,097,137,185,231,266,286,287,266,228,188,159,148,160,191,230,262,280,278,255,217,171,126
MA22,00/01/09,093,074,077,107,154,203,247,279,290,277,244,205,170,151,153,175,209,245,272,283,273,242,199,153
MA22,00/01/10,114,090,086,105,144,192,236,269,288,286,264,228,192,163,147,153,177,210,242,262,263,245,213,173
MA22,00/01/11,132,096,075,077,103,143,190,232,261,271,261,233,197,164,144,142,156,182,215,244,260,258,236,200
MA22,00/01/12,159,124,100,093,105,135,174,215,251,273,275,257,226,192,166,154,159,180,208,235,257,265,259,239
MA22,00/01/13,208,174,144,124,124,143,174,212,247,272,283,279,259,229,199,176,167,175,193,216,237,251,254,245
MA22,00/01/14,225,198,169,147,136,135,150,178,211,239,257,263,255,233,204,179,161,151,151,162,180,203,223,233
...
```

データ全体を R に読み込ませる場合には、`read.table` などを用いる必要がある（適切にオプションを設定）。ただし、2週間分のデータであれば、港の名称（名古屋港は、MA22）、日付の欄およびカンマをテキスト・エディタで削除して、コピー＆ペーストにより、`scan` を用いて入力する方が簡便である。

```
> scan() -> nagoya
1: 205 223 233 231 217 198 181 172 173 183 197 213 230 243 247 241 ...
Read 336 items
> days <- (1:(24*14) - 1)/24
> plot(days, nagoya, type="b")
```

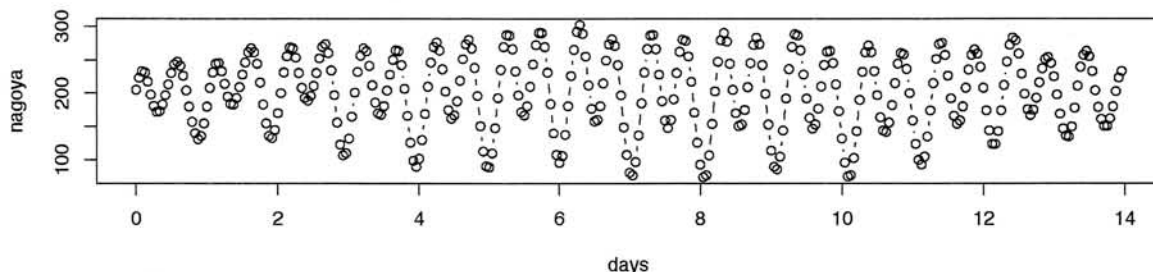


図-1 名古屋港の潮位変動（2000年1月1日～14日）

図-1を見れば、潮位変動の第1の特徴として、1日に約2回の振動が確認できる。また、(この場合には)干潮に着目すれば、潮位の低いものと高いものが交互に現れている。この現象を日潮不等という。

3) 本題に入る前に少々寄り道: まずは、潮位変動を大雑把に見て、1日に約2回の振動であることから、定数項に加えて、説明変数として、以下の4成分(1つの周波数に対して、 $\cos$ と $\sin$ の2成分があるので、周波数成分としては2つ)をとることにする。1日に1回の振動成分は必要ないのではないか?と考えるかも知れない。しかし、平均潮位=定数項=振動しない成分=1日に0回の振動成分は、説明変数に必要であることも考え合わせれば、系統的に、(0, 1, 2)回/1日の振動成分を全て説明変数として含めて検討する方が自然である。

```
> rep(1, 24*14) -> flat
> cos(2*pi*days) -> cos.1; sin(2*pi*days) -> sin.1
> cos(2*pi*days*2) -> cos.2; sin(2*pi*days*2) -> sin.2
```

前問1)の解答にしたがえば、次のように、行列  $X$  を求めて、正規方程式を解けばよい。

```
> as.matrix(data.frame(flat, cos.1, sin.1, cos.2, sin.2)) -> X
> solve(crossprod(X), t(X) %*% nagoya) -> coefs; t(coefs)

      flat      cos.1      sin.1      cos.2      sin.2
[1,] 201.4821 -28.78871 -1.011963 -30.01552 -14.44009
```

このような回帰モデルの計算は、以下のように行うこともできる。

```
> (lm(nagoya ~ cos.1 + sin.1 + cos.2 + sin.2) -> model.1)
```

Call:

```
lm(formula = nagoya ~ cos.1 + sin.1 + cos.2 + sin.2)
```

Coefficients:

| (Intercept) | cos.1   | sin.1  | cos.2   | sin.2   |
|-------------|---------|--------|---------|---------|
| 201.482     | -28.789 | -1.012 | -30.016 | -14.440 |

実測の潮位と合わせて、推算潮位を表示したものを図-2に示す。

```
> plot(days, predict(model.1), type="l", col="blue", ylim=range(nagoya))
> points(days, nagoya)
```

潮位変動の第2の特徴として、「周期を約2週間とする振幅の変調」という性質が、図-2の実線で示された推算潮位には見られない。この振幅の変調は、大潮・小潮として知られる現象であり、新月(朔)と満月(望)で、大潮となることは、有名である(月の朔望周期は、約29.5日である)。このことを検討するためには、以下に示すような最低限4つの周波数の振動を成分にとる必要がある。なお、この振動周期は、天体(太陽と月)の運動により、定められるものである。このような振動成分を、一般に、分潮とよび、ここで用いる4つ分潮( $K_1$ ,  $O_1$ ,  $M_2$ ,  $S_2$ )を主要4分潮という。

```
> hours <- days * 24
> cos(2*pi*hours/23.93) -> cos.K1; sin(2*pi*hours/23.93) -> sin.K1
> cos(2*pi*hours/25.82) -> cos.O1; sin(2*pi*hours/25.82) -> sin.O1
> cos(2*pi*hours/12.42) -> cos.M2; sin(2*pi*hours/12.42) -> sin.M2
> cos(2*pi*hours/12.00) -> cos.S2; sin(2*pi*hours/12.00) -> sin.S2
```

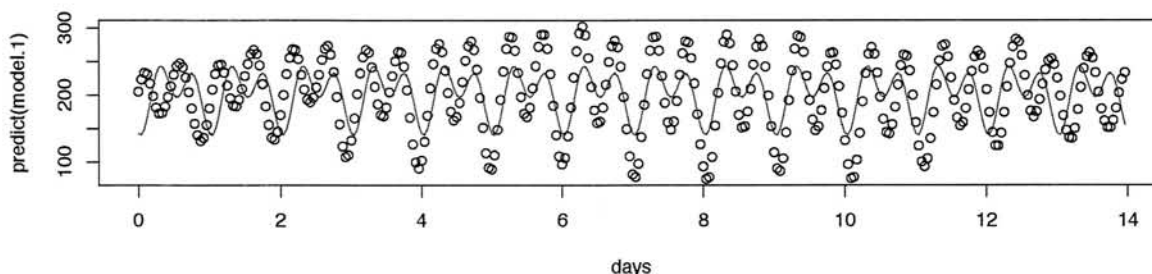


図-2 2つの振動成分による推算潮位

さて、これらの主要4分潮と定数項を説明変数とした統計モデルの回帰係数を求めよう。

```
> (lm(nagoya ~ cos.K1 + sin.K1 + cos.O1 + sin.O1 +
+      cos.M2 + sin.M2 + cos.S2 + sin.S2) -> model.2)
```

Call:

```
lm(formula = nagoya ~ cos.K1 + sin.K1 + cos.O1 + sin.O1 + cos.M2 +
    sin.M2 + cos.S2 + sin.S2)
```

Coefficients:

| (Intercept) | cos.K1  | sin.K1 | cos.O1  | sin.O1  |
|-------------|---------|--------|---------|---------|
| 201.447     | -28.370 | -4.670 | 14.838  | 3.685   |
|             | cos.M2  | sin.M2 | cos.S2  | sin.S2  |
|             | 54.982  | 27.353 | -26.815 | -13.428 |

図-3を見るとおり、主要4分潮による推算潮位は、実測の潮位を極めて良く再現している。また、各分潮の振幅の大きさは、下記のとおり得られる(単位:cm)。

```
> matrix(coef(model.2)[-1], nrow=2,
+        dimnames=list(c("cos", "sin"), c("K1", "O1", "M2", "S2"))) -> res
> (apply(res, 2, function(vec) round(sqrt(crossprod(vec)), 1)) -> major4)
   K1  O1  M2  S2
28.8 15.3 61.4 30.0
```

名古屋港における潮位の調和定数(ここでは振幅のみ)は、 $K_1=24.2$ ,  $O_1=18.4$ ,  $M_2=65.4$ ,  $S_2=30.9$ (cm)と知られている(海上保安庁, 1995)。なお、実際には、分潮の振幅が18.6年間で緩やかに変動することも考慮し、また、1日に3回以上振動する高周波の分潮や、1年間で1回振動する気象潮などの低周波の分潮も含め、日本の場合は60分潮で、調和分解が行われることが多い。

主要4分潮の振幅比から、日潮不等の分類も行われる。主要4分潮の振幅値に対して、次式の  $F$  値が、 $0 \leq F \leq 0.25$  であれば、半日周潮型、 $F > 3.00$  であれば、日周潮型、 $0.25 < F \leq 3.00$  であれば、混合型として分類している(Foreman, 1996)。

$$F = \frac{K_1 + O_1}{M_2 + S_2} \quad (4)$$

名古屋港の場合、上記の計算結果から以下のように  $F$  値を求めて、混合型と判定できる。

```
> sum(major4[c("K1", "O1")])/sum(major4[c("M2", "S2")])
[1] 0.4824945
```

4) 日本海洋データセンターにて入手した、2000年の名古屋港の年間全体のデータに対し、設問2)のようなコピー&ペーストによる入力法は適さない。データをファイルに保存して、以下のように読み込む。

```
> read.table("ftp_MA22_2000_01.csv", sep=",",
+           colClass=c("character", "character", rep("numeric", 24))) -> nag2k
> dim(nag2k)
[1] 366 26
```

366行\*26列の表として読み込んでいることがわかる。各行に、港名、日付、および24時間の毎時

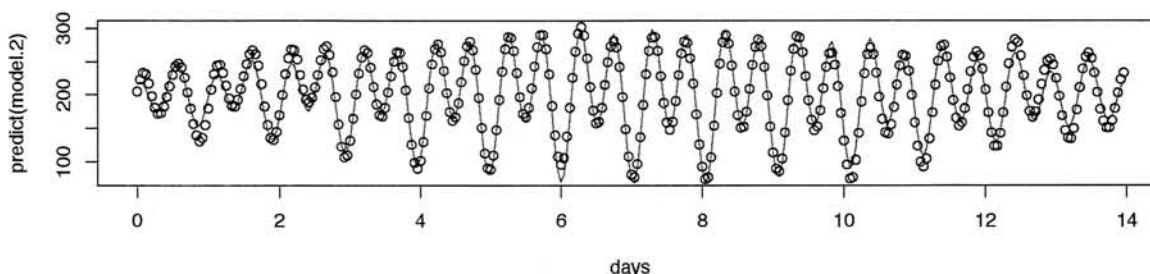


図-3 主要4分潮による推算潮位

潮高記録があるので、26列となっている。これに対し、366行というのは、対象とする1年間の日数である。西暦2000年=うるう年をアタリマエ!と思う人は、少々軽薄か、あるいは、かなり思慮深いか、いずれかである。なぜなら、西暦1900年は、うるう年ではない。そもそも、現在、西暦とよんでいるのは、グレゴリオ暦のことである。暦について興味がでてきた人は、少し調べてみよ! (例えば, Duncan, 1998)

```
UNIX> cal 2 2000
February 2000
S M Tu W Th F S
      1 2 3 4 5
 6  7  8  9 10 11 12
13 14 15 16 17 18 19
20 21 22 23 24 25 26
27 28 29
```

```
UNIX> cal 2 1900
February 1900
S M Tu W Th F S
      1 2 3
 4  5  6  7  8  9 10
11 12 13 14 15 16 17
18 19 20 21 22 23 24
25 26 27 28
```

蛇足であるが、以下の結果には、あれれ?と驚くかも知れない。実は、西暦には11日間の欠落がある(ユリウス暦からグレゴリオ暦への切り替え時に生じる)。以下は、当時英国領であった米国の場合を示している。なお、法王おひぎもとのイタリアでは、1582年10月に不連続が生じている。

```
UNIX> cal 9 1752
September 1752
S M Tu W Th F S
      1 2 14 15 16
17 18 19 20 21 22 23
24 25 26 27 28 29 30
```

まずは、日平均潮位を求めよう。9月中旬に不自然に突出しているのは、東海豪雨の影響かもしれない。

```
> apply(nag2k[, -(1:2)], 1, mean) -> nag2k.dailym
> plot(1:366/366*12 +.5, nag2k.dailym, type="l", axes=F,
+      xlab="Month", ylab="Sea Level")
> axis(1, 1:12, month.abb); axis(2); box(); title("Nagoya: year 2000")
```

次に、月平均潮位を求めよう。図-4を見るとおり、平均潮位は、春先に最も低く、秋に最も高い。これは、2000年に限らず、一般的にいえることである。台風の来襲時には、平均的に見ても潮位が高いため、高潮に御用心!ということである。また、春先の「潮干狩り」は、日本の風物詩の1つと知られる(原田, 2005)。秋には、潮干狩りをしないネ! 図-4は、このことを示している、というのは言い過ぎか?

```
> nag2k.mon <- unstack(data.frame(data=nag2k.dailym,
+ month=rep(month.abb, c(31, 29, 31, 30, 31, 30, 31, 31, 30, 31, 30, 31))))
> unlist(lapply(nag2k.mon, mean)) -> nag2k.m
> lines(nag2k.m[month.abb], type="b", col="blue")
```

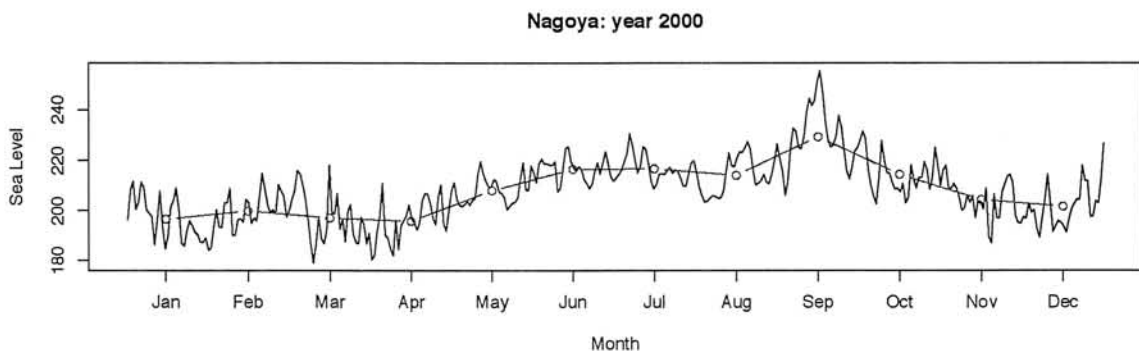


図-4 名古屋港の平均潮位 (2000年)

台風要因とそれ以外の要因による極大波高分布の相違

名古屋工業大学・社会工学専攻・北野利一 (kitano@nitech.ac.jp)

◎ 講演スライドは、近日中に、以下のサイトに公開予定です。

[http://doboku2.ace.nitech.ac.jp/Hydro/Coast\\_J/member/memkyoukan.htm#kitanoprof](http://doboku2.ace.nitech.ac.jp/Hydro/Coast_J/member/memkyoukan.htm#kitanoprof)

- \* 高波とは、...
- \* 統計および応用統計のダイゴ味は、...
- \* 応用統計にて、重要かつ難しいコトは、...

例1) あなたは、Newton 派? Einstein 派?

> addmargins(contrib2)

|            | Newton | Einstein | Sum  |
|------------|--------|----------|------|
| scientists | 210    | 135      | 345  |
| people     | 681    | 682      | 1363 |
| Sum        | 891    | 817      | 1708 |

○ニュートン



物理学の巨人 2人、ニュートン=肖像画=とアインシュタイン=写真右=のどちらが、科学や人類により貢献したか……そんな投票が英王立協会で行われた。世界物理年であることを記念する行事で、約200年間・英仏海峡を挟む「時空を超えた対決」は、ニュートンに軍配が上がった。同協会の科学者345人と一般人1363人が投票し、同協会が11月末、結果を公表した。「科学への貢献」を問う投票では科学者の86.2%がニュートン、残りがアインシュタインに投票。一般人は61.8%がニュートン、残りがアインシュタインに投票した。「人類への貢献」では、科学者の60.9%がニュートンに、残りがアインシュタインに投票したが、

●アインシュタイン



一般人のニュートンへの投票は50%で、ほぼ互角だった。同協会理事長のメイ卿は「ニュートンとアインシュタインを比べることはリンゴとオレンジを比べるようなものだという人が多いかもしれないが、大切なのは、2人の偉大な業績に皆が感謝しており、影響もきわめて大きいこと」とコメントを発表した。英国のニュートンは万有引力や微積分法の発見などで知られ、近代科学の祖ともされる。1687年、物理学の古典的名著「プリンキピア」を出版した。世界物理年は、ドイツ出身のアインシュタインが特殊相対性理論など革命的論文を相次ぎ発表した「奇跡の年(1905年)」から100周年を記念し定められた。(勝田敏彦)

貢献度高いのは、英王立協会での投票

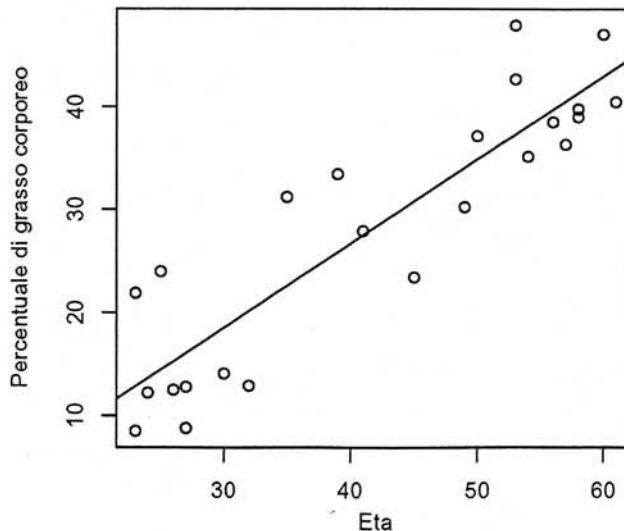
(データ出典:朝日新聞, 2005年12月4日の記事; <http://www.royalsoc.ac.uk/news.asp?id=3880>)

例1') プロシアの馬蹴られ死亡兵(14軍\*20年) [カイ自乗適合度検定の典型例]

|          | 0      | 1     | 2     | 3     | 4    | 5    |
|----------|--------|-------|-------|-------|------|------|
| Observed | 144.00 | 91.00 | 32.00 | 11.00 | 2.00 | 0.00 |
| Expected | 139.04 | 97.33 | 34.07 | 7.95  | 1.39 | 0.19 |

例2) 気になる体脂肪率, 年齢とともに増大

DATA SOURCE: <http://www.stat.unipd.it/~claudio>

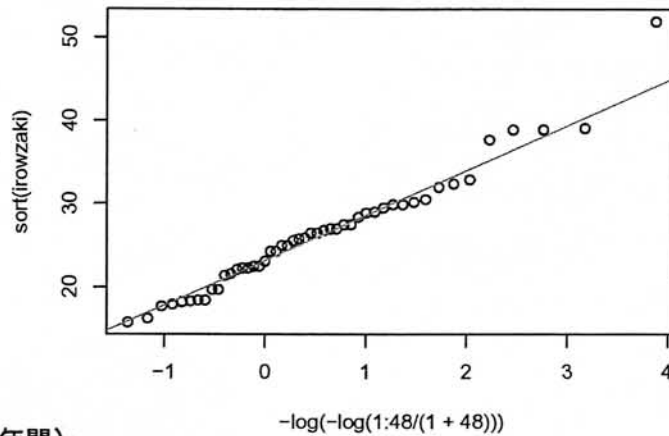


\* 中心極限定理 (CLT) と、極値の漸近定理 (Domain of Attraction)

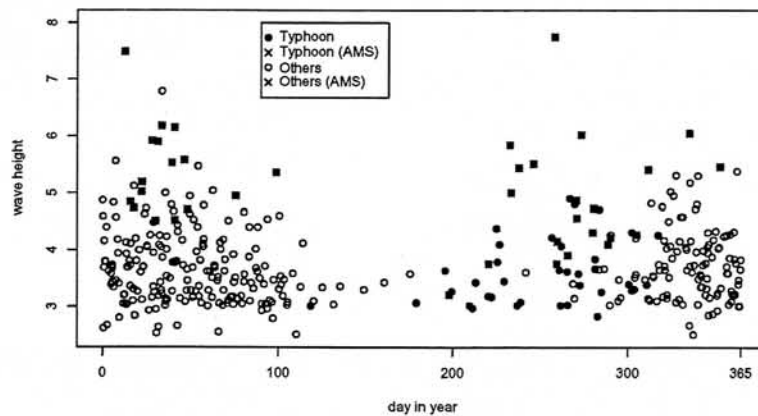
\* 本題への準備:

- 1) 変動の分布 = 極値分布 における,
- 2) 要因 = 説明変数 = 共変量 としての回帰モデル (共分散解析)

\* 石廊崎の過去 48 年間の年最大風速資料 (いわゆる白本, p.268) ... 落とし穴アリ!

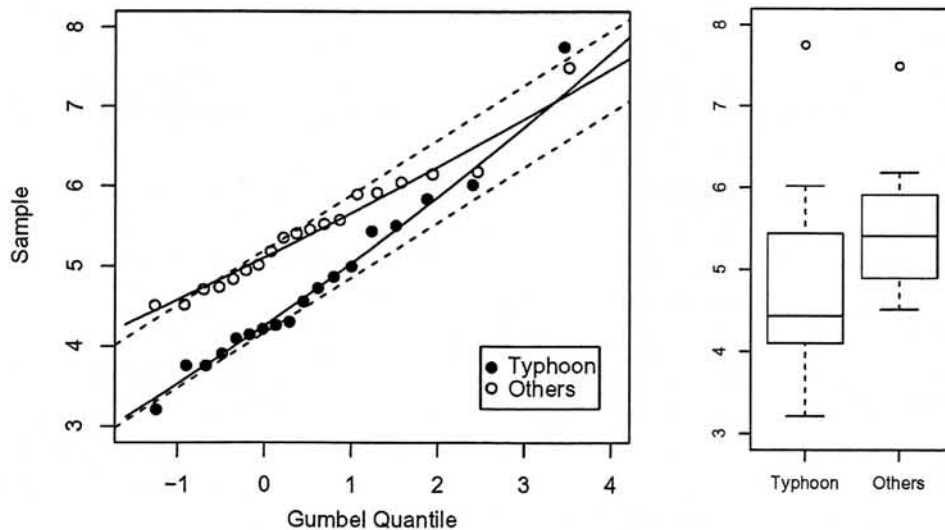


\* 名瀬港 (19年間)



◆ 興味として, 1) 単なる確率波高の算出だけでなく, 2) 確率波高はどちらの要因か (=再現期間に応じて, 影響が強いのはどちらの要因か) ? ということ.

\* 名瀬港 in Gumbel plot





2005年(平成17年)12月17日 土曜日 44602号 (日刊)

### 天声人語

アイんシュタインは、1922年、大正11年の暮れの今頃、京都、奈良を夫婦で旅していた。ノーベル物理学賞の受賞が決まったばかりで、東京や仙台、名古屋などでも盛んな歓迎を受けた。東京では小石川植物園で帝国学士院の歓迎会があり、記念写真が残された▼戦後の昭和39年、その植物園に英国からリンゴの苗木がやってきた。ニュートンが万有引力を発見したとの逸話のあるリンゴから接ぎ木されたものだった。その時、科学の巨人ふたりの接点の小石川にできた▼「ふたりのどちらが、科学や人類により貢献したか」。アイんシ

ユタインの特殊相対性理論などの発表から100周年の今年、英王立協会が投票を募った▼「科学への貢献」では、協会の科学者も一般人も、ニュートンの方がかなり多かった。「人類への貢献」では、科学者の6割がニュートンだが、一般人では、票は半々に分かれた▼2000年に、本紙が、この千年の傑出した「日本の科学者」を読者から募集した。「日本の」なのに、科学に国境はないというのか、外国人を挙げる人もいた。そのトップはアイんシュタインで、ニュートンは5番目だった▼アイんシュタインは、自宅の書齋にニュートンの肖像を飾っていたという。「ニュー

トンにとって自然は一冊の開かれた書物であり、その文字を難なく読むことができた」とも述べた(金子務『アイんシュタイン劇場』青土社)。昨日、冬空に枝を差し伸べる小石川のリンゴの前で、自然という書物を前人未到の目で読み解いたふたりのことを考えた。