



環境問題と統計数理

統計数理研究所
リスク解析戦略研究センター
椿 広計

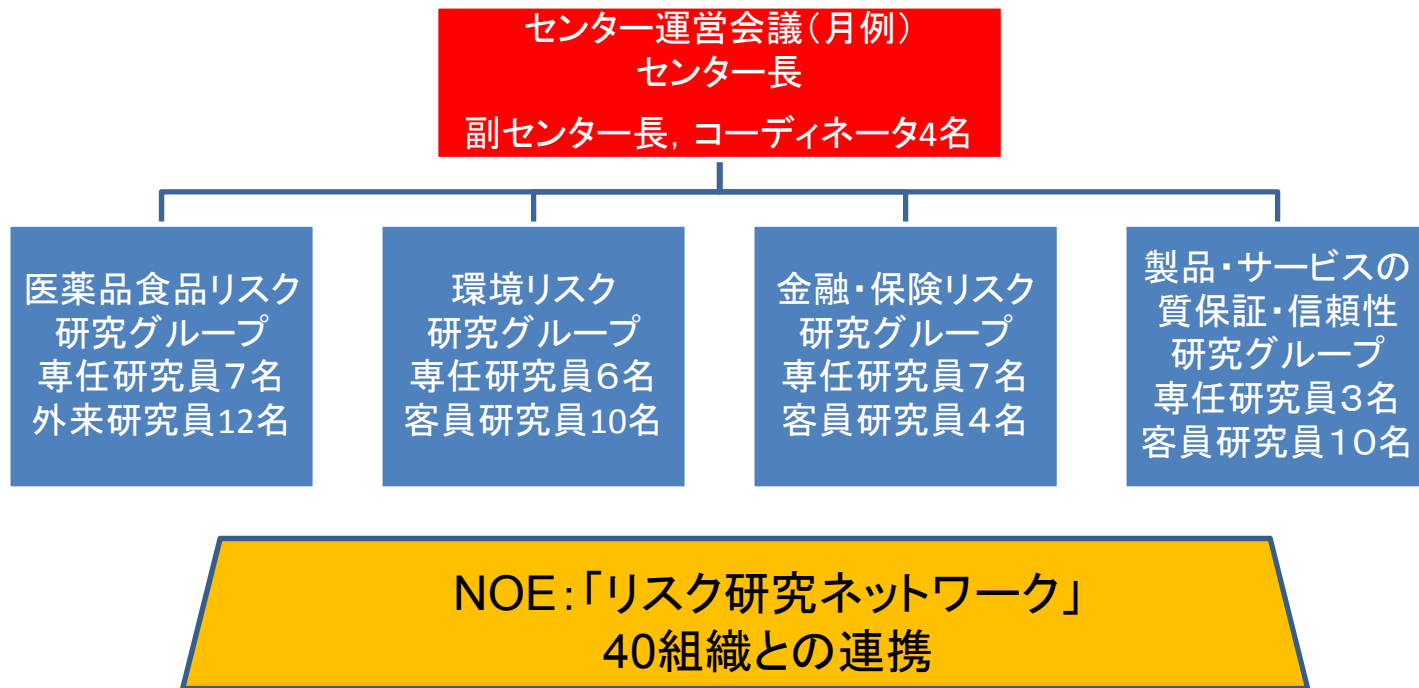
お品書き

- 枕: 統計数理研究所のコト
 - リスク解析戦略研究センターのコト
 - 環境リスク研究グループのコト
 - わたしゴト
- はじめに: 科学的に考えるとはどういうことか?
- 統計数理の環境問題における役割: PM_{2.5}問題を例にして
 - PM_{2.5}問題とは何か?
 - 環境変化を可視化する統計数理
 - 人間生活とPM_{2.5}
 - 環境を計ることへの統計数理の応用
 - PM_{2.5}測定の難しさと方式の選択
 - 環境基準の考え方と統計数理
 - 環境技術倫理: PM_{2.5}の健康影響
- おわりに: 情報システム研究機構「データ中心人間・社会科学」のコト

大学共同利用機関情報・システム研究機構 統計数理研究所(ISM)のコト

- 1943/11 学術研究会議で統計数学を中心とする研究所設立建議
- **1944/06/05** 勅令第385号統計数理研究所官制交付
(文部大臣管理): 確率数理とその応用研究, 研究連絡・統一促進
- 1955/04 広尾移転(学士院⇒細川亭⇒三軒茶屋)
- 1985/04 (国立)大学共同利用機関
- 1988/10 総合研究大学院大学設置・参画
- 2004/04 **大学共同利用機関法人情報・システム研究機構・
統計数理研究所**
(国立遺伝学研究所, 国立極地研究所, 国立情報学研究所),
予測発見戦略研究センター設置
- 2005/04 リスク解析戦略研究センター設置
- 2009/10 立川(アカデミック・プラザ)への移転
(国立極地研究所, 国文学研究資料館, 国立国語研究所)
- 2010/06 **Akaike Guest House**設置

リスク解析戦略研究センター(RARC) 4研究グループからなる研究組織 2005/04設置



- RARC目的
 - リスク評価・管理の方法の研究拠点整備
 - 特化した課題に関する問題解決
 - リスク研究のNOE(Network Of Excellence)形成
- 目的達成のための活動内容
 - プロジェクト研究推進
 - リスク研究ネットワーク支援
 - 研究者養成
 - 普及活動

リスク研究ネットワークのコト: NOE **Network Of Excellence**

大学関係: 16組織⇒18組織に拡大

- 明治大学グローバルビジネス研究科
- 筑波大学大学院ビジネス科学研究科企業科学専攻
- 筑波大学大学院システム情報工学研究科リスク工学専攻
- 京都大学経済研究所
- 東京大学地震研究所
- 統計数理研究所リスク解析戦略研究センター
- 久留米大学バイオ統計センター
- **東京大学・環境安全研究センター**
- 北海道大学大学院理学研究科地震火山研究観測センター
- 横浜国立大学安心・安全の科学研究教育センター
- 九州大学産業技術数理研究センター
- **○岡山大学大学院環境学研究科**
- ○鹿児島大学大学院理工学研究科数理情報科学専攻
- ○島根大学医学部附属病院医療情報部
- ○成蹊大学理工学部情報科学科
- ○長崎大学グローバルCOEプログラム放射線健康リスク制御国際戦略拠点
- ○情報セキュリティ大学院大学
- ○慶應義塾大学大学院健康マネジメント研究科医療マネジメント専修

文部科学省以外の研究機関: 2組織⇒4組織に拡大

- 国立保健医療科学院技術評価部
- **産業技術総合研究所安全科学研究部門**
- ○国立精神・神経医療研究センター精神保健研究所
- ○国立医薬品食品衛生研究所

団体: 6組織

- **(社)日本環境測定分析協会**
- **特定非営利活動法人 環境統計統合機構**
- 特定非営利活動法人 横断型基幹科学技術研究団体連合
- くすりの適正使用協議会
- 日本製薬工業協会医薬品評価委員会
- ○特定非営利活動法人 ABEST2

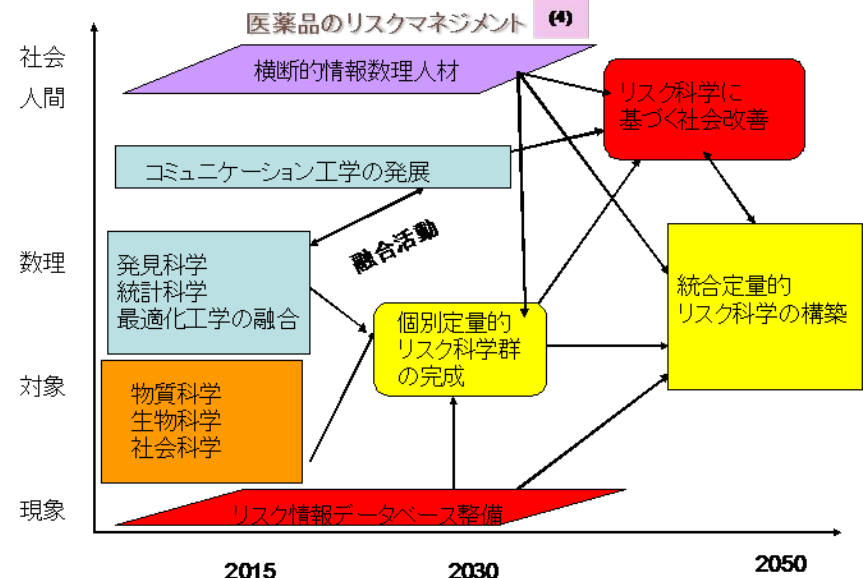
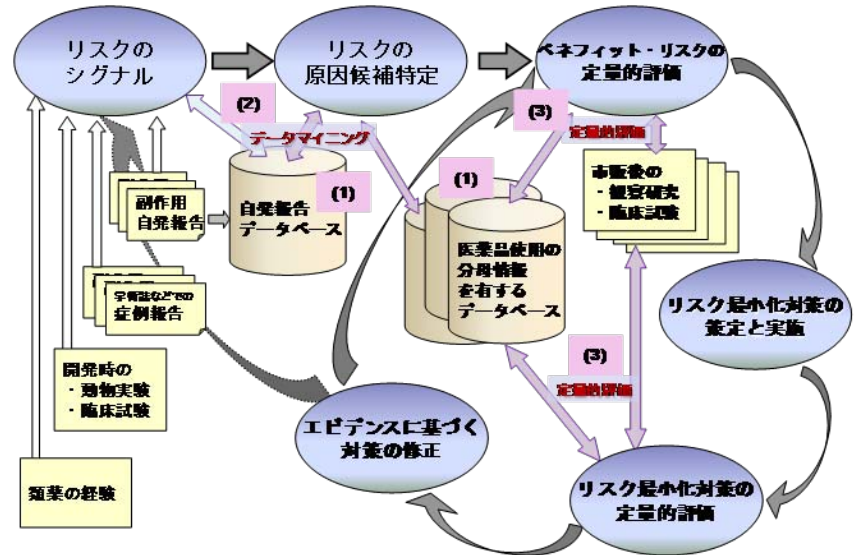
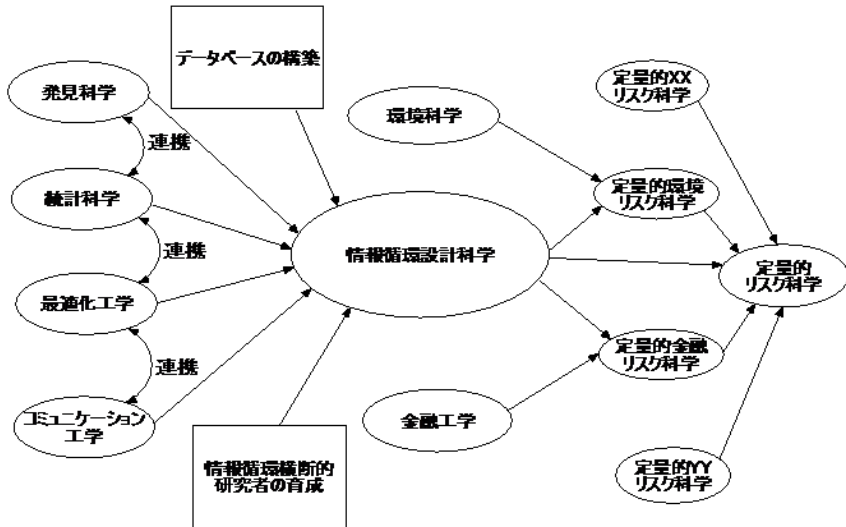
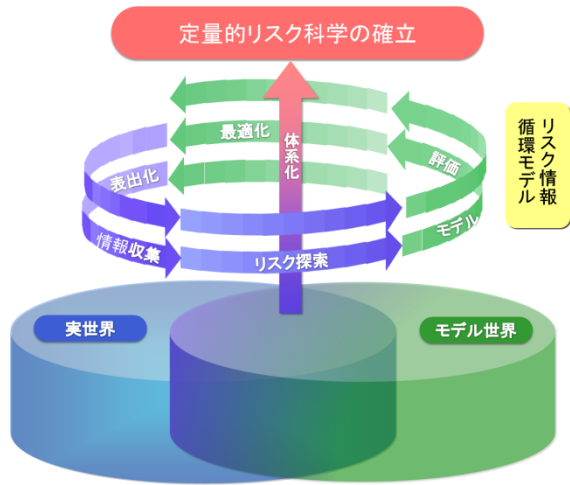
学会: 11組織⇒12組織に拡大

- 日本金融・証券計量・工学学会
- 日本計算機統計学会
- 日本計量生物学会
- 日本行動計量学会
- 日本統計学会
- 日本分類学会
- 日本保険・年金リスク学会
- 日本予防医学リスクマネジメント学会
- 応用経済時系列研究会
- 応用統計学会
- 日本リスク研究学会
- ○日本薬剤疫学会

運営組織

- 会長(運営委員会委員長)
 - 宮本 定明(筑波大学 大学院システム情報工学研究科リスク工学専攻)
- 運営幹事
 - 川崎能典(応用経済時系列研究会)
 - 東宮 秀夫(日本製薬工業協会 医薬品評価委員会 統計・DM部会長)
 - **蒲生 昌志(産業技術総合研究所 化学物質リスク管理研究センター)**
- 事務局長: 椿 広計(統計数理研究所 リスク解析戦略研究センター長)

NOEの横断的活動： 定量的リスク科学」創生



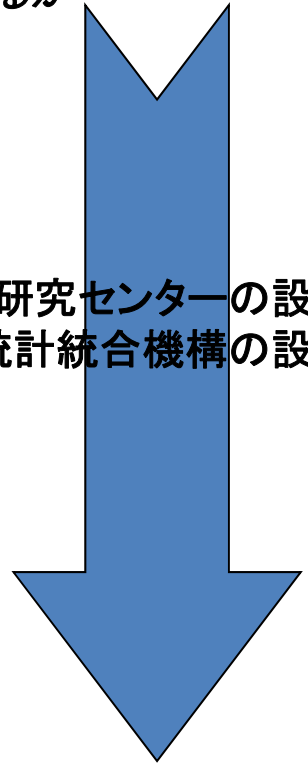
環境リスク研究グループ:現在の主要プロジェクト

- 水質環境リスク評価（国立環境研からの委託研究）：
 - 金藤浩司、奥田 将己 (PD)
- 化学物質の有害性情報に対するデータマイニングおよび統計モデル化（産業技術総合研究所からの委託研究）
新エネルギー・産業技術総合開発機構「化学物質の最適管理をめざすリスクトレードオフ解析手法の開発／リスクトレードオフ解析手法の開発」
 - 影山正幸 (PD)、藤井孝之 (PD)、金藤浩司、椿広計
- PM_{2.5}環境リスク評価
 - 南 美穂子 (客員教授)、椿 広計、
- ISMシンポジウム・市民講演会の企画
- NPO法人環境統計統合機構の運営

ISMシンポジウム

- 平成14年度「環境科学と統計科学の新たな融合」
環境科学は統計科学に何を期待するか、統計科学は環境科学に何ができるか
- 平成15年度「環境科学と統計科学の新たな融合」
環境マネジメントにおける統計科学の役割および貢献
- 平成16年度「環境科学と統計科学の新たな融合」
環境データの質の向上に貢献する統計科学

リスク解析戦略研究センターの設立
特定非営利活動法人環境統計統合機構の設立



2002.8.19(月)~20(火) 統計数理研究所・講堂
平成17年度「環境科学と統計科学の新たな融合」
新たな展開へのチャレンジ

平成18年度「地球環境研究における統計科学の貢献」
地球環境変動の不確実性への挑戦

平成19年度「環境リスク評価研究における統計科学の貢献」
モデルによる環境健康リスクの理解と制御への挑戦

平成20年度「生態系のリスク管理と適応にむけた統計分析とその現状」
データ解析・モデリングによる生態系変化の理解と制御への挑戦

2010/11/02

ISMシンポジウム
環境リスク評価研究における統計科学の貢献
—モデルによる環境健康リスクの理解と制御への挑戦—

日時: 2008年11月21日(月) 13:00~18:00
場所: 統計数理研究所・講堂 東京都港区南麻布 4-6-7

主催: 特定非営利活動法人環境統計統合機構

プログラム
招待講演
内山 徹雄(京都大学)
「環境汚染物質のリスク評価 -現状と課題-」

一般講演
セツラン「リスクを語る」
土屋和典(慶応大学)
「人はリスクをどのように知る、
解するのだろうか?」
セツラン「産業革命以降とモデル」
松本 孝(国際環境科学)
「健康リスク評価における環境汚染と
気候変動」
高澤英輔(京都大学)
「環境のリスク評価を考慮した
健康リスク評価の試み」
セツラン「産業アセスメントとモデル」
石野真生(東京工業大学)
「健康リスクの健康評価における
環境汚染について」

討論
コーディネーター 高澤英輔(岡山大学)
コーディネーター 内山 徹雄(京都大学)
松本 孝(国際環境科学、統計数理研究所)
高澤英輔(岡山大学)

参加費
無料

ISM公開講演会「環境問題を科学的に考
えよう」
<http://ism.ac.jp/risk/contents/ISMsympo2007.html>

環境リスク研究の人的ネットワークの構築

特定非営利活動法人 環境統計統合機構

(目的)

第3条 この法人は、環境科学及び統計科学の両科学に関心を持つ一般市民、環境関連NPO、研究機関、環境関連企業、自治体等の環境関連組織体に対して、科学的技術的支援及び人的資源の融合に寄与する事業展開、両分野に跨る共同研究の推進、新技術開発、相談等の支援事業及びこれらに関わる人材育成事業、普及啓発事業、情報提供事業を推進し、**環境問題を科学的に捉え行動していく上での方法論の提供を行い**、以て人類の持続的な存続が可能な社会の実現へ向けて、地球環境の保全、改善に大きく貢献することを目的とする。

「定款より」

自分のコト: 自称統計家

- 統計的方法の標準化
 - 統計的品質管理: ISO・TC69
 - 計測の不確かさ解析
 - 許容差通則(旧JIS Z8402)
 - 統計用語
 - 実験計画法用語
 - 乱数及びランダム化: ISO28640主査
 - TC69SC8委員長
 - 技術開発加速の統計関連技法
 - 医学統計: 厚生省
 - 臨床試験の統計解析ガイドライン
 - 中央薬事審議会新薬調査会
 - 市販後調査ガイドライン
 - MEGA Studyデータセンター
 - 薬害肝炎事件福岡地裁原告側証人
 - 官庁統計: 総務省統計審議会
 - 調査技術開発部会⇒農水統計部会長
 - 調査プロセスの標準化
 - 内閣府統計委員会匿名データ部会長
 - マネジメントシステムの標準化
 - **ISO TC207: EMS: ISO14000**
 - 用語
 - **製品規格の環境配慮**
 - **環境適合設計**
 - **IEC TC111: 電気電子製品環境配慮**
 - ISO TC176: ISO9000: QMS8原則
- 応用統計
 - **環境計測のための統計的方法**
 - **リモートセンシング**
 - **オゾン層の計測の不確かさ解析**
 - » 国立環境研究所
 - 金融・経営管理のための統計的方法
筑波大学大学院ビジネス科学研究科
社会人院生との共同研究
 - 企業格付け・リスク評価
 - 消費者行動
 - IT経営度調査
 - 統計数理研究所リスク解析戦略研究センター
 - 定量的リスク科学の確立
 - 「技術開発促進のための新たな統計科学体系」
 - 設計科学の文法
 - シミュレーションに基づく設計開発
- 数理統計・統計モデル
 - 一般化線形モデル
- 所属学会
 - 応用統計学会(会長)
 - (社)日本品質管理学会(理事)
 - 日本統計学会(評議員)
 - 日本計量生物学会(評議員)
 - 横断型基幹科学技術研究団体連合(理事)



自由思想と科学の文法: 再現することを信じる
統計数理の発端

科学的に考えるとは？

東京帝国大学文学部講義「文学評論」(1903)

- その道の人は科学をこう解釈する。

- 科学はいかにしてということすなわちHowということの研究するもので、なにゆえということすなわちWhyということの質問には応じかねるというのである。
- さてこのいかにしてすなわちHowということを解釈すると俗にいう原因結果という答えが出てくる
- 太郎が犬を打ったとする
 - Why? 「何故打ったのか」→動機の問題「悪戯をするから」
 - How? 「どうして打ったのか」→打つまでの事件の経過が問題
 - » これは、寺田寅彦「物理学序説」の絶筆部分
- しかしまえに述べたようなわけだからこの原因結果とはある現象の前には必ずある現象があり、またある現象の後には必ずある現象が従うという意味で、甲が乙をしかならしめたなどという意味ではないのは無論である。

分解(Analysis)・総合(Synthesis)・分類(Classification)

- それでこの原因結果を探るには分解をする。
 - 一つの現象をとって『いかにして』ということを知るには、それが複雑な現象であればあるほど『いかにして』ということを知りにくい。
 - 知ったと思うても分解を経た上でないと常に間違う。
だから人間はその場合とその時代に応じてでき得るかぎりの分解を企てる。分解をしてある微細なことについて『いかにして』ということが分かると、つぎにはこの零細なる事実をたくさん集めて比較してみる。
- そこで総合ということが始まる。
 - 総合とは同じような事実をたくさん集めて『いかにして』という点においてみな一致していることを見ることである。
 - で総合ができれば、これから一つの法則ができるわけである。
- それから総合をしてみても『いかにして』という点においていろいろな場合が一致しなければ分類ということができない。
- **まずざっとこんなふうで科学はできる。**

自由思想の倫理: Pearson, 1881

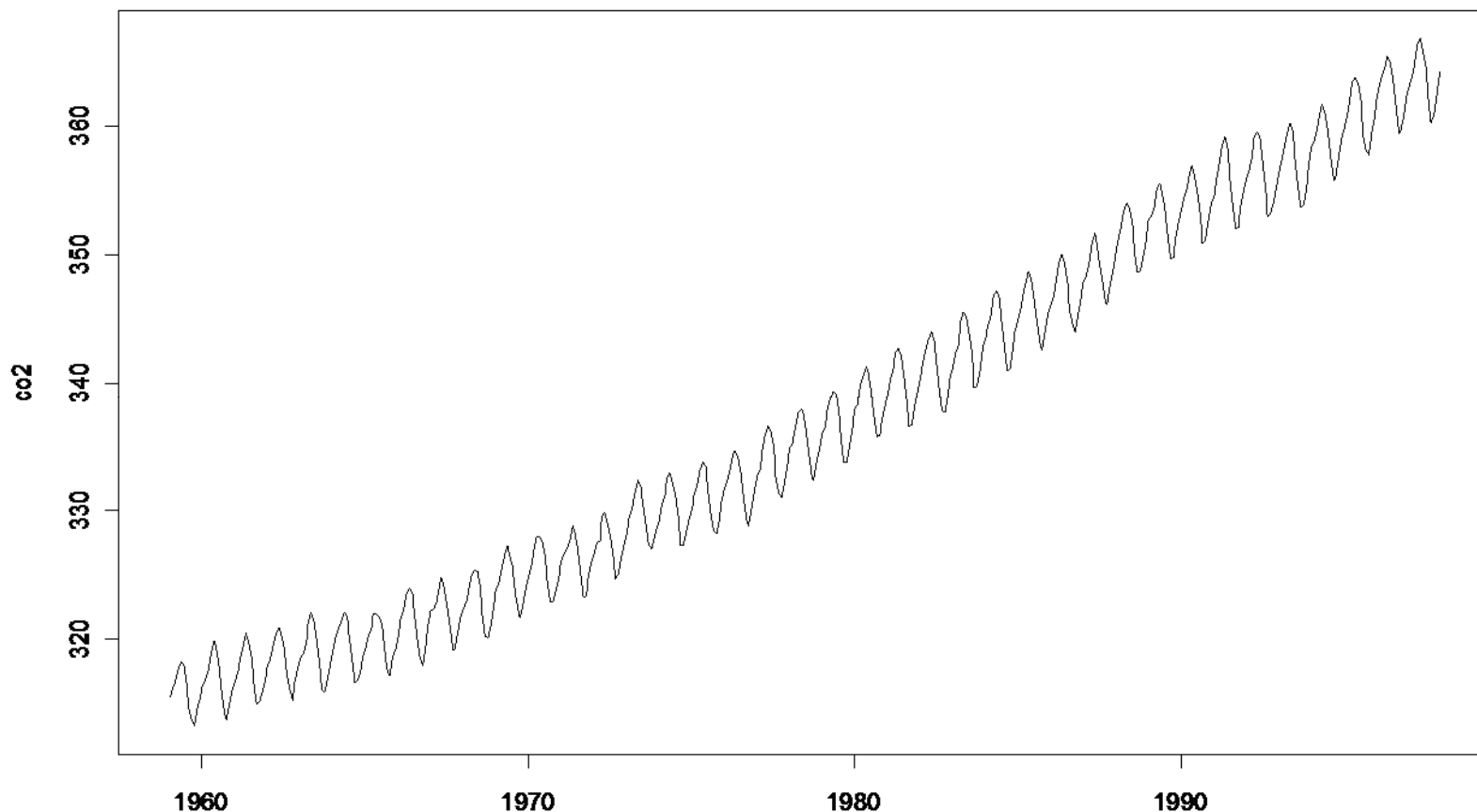
- *Freethinker* ⇔ 自己本位
 - 権威主義と対峙する「実学: Science」
 - 借物でない、事実に基づく主張
 - 最新の知見を基に行動を立案し
 - 事実から学ぶ「科学の文法」に立脚し
 - 人知の及ぶ領域が未だ有限であることを十分認識
 - Virtue: プロフェッショナルの倫理
 - 近代人を奮い立たせる原動力としての科学
 - Moral: 皆で守らなければならない規範
 - ベストを尽くして当該分野において人知が及ぶ領域を拡大
- 科学が統計の学問であるとする、全ての法則には例外がある。そして、科学が進歩するということは、その例外の範囲をできるだけ縮めていくことである。
 - 中谷宇吉郎(1958)「科学の方法」、岩波新書

The Grammar of Science:科学の文法: Pearson, 1882

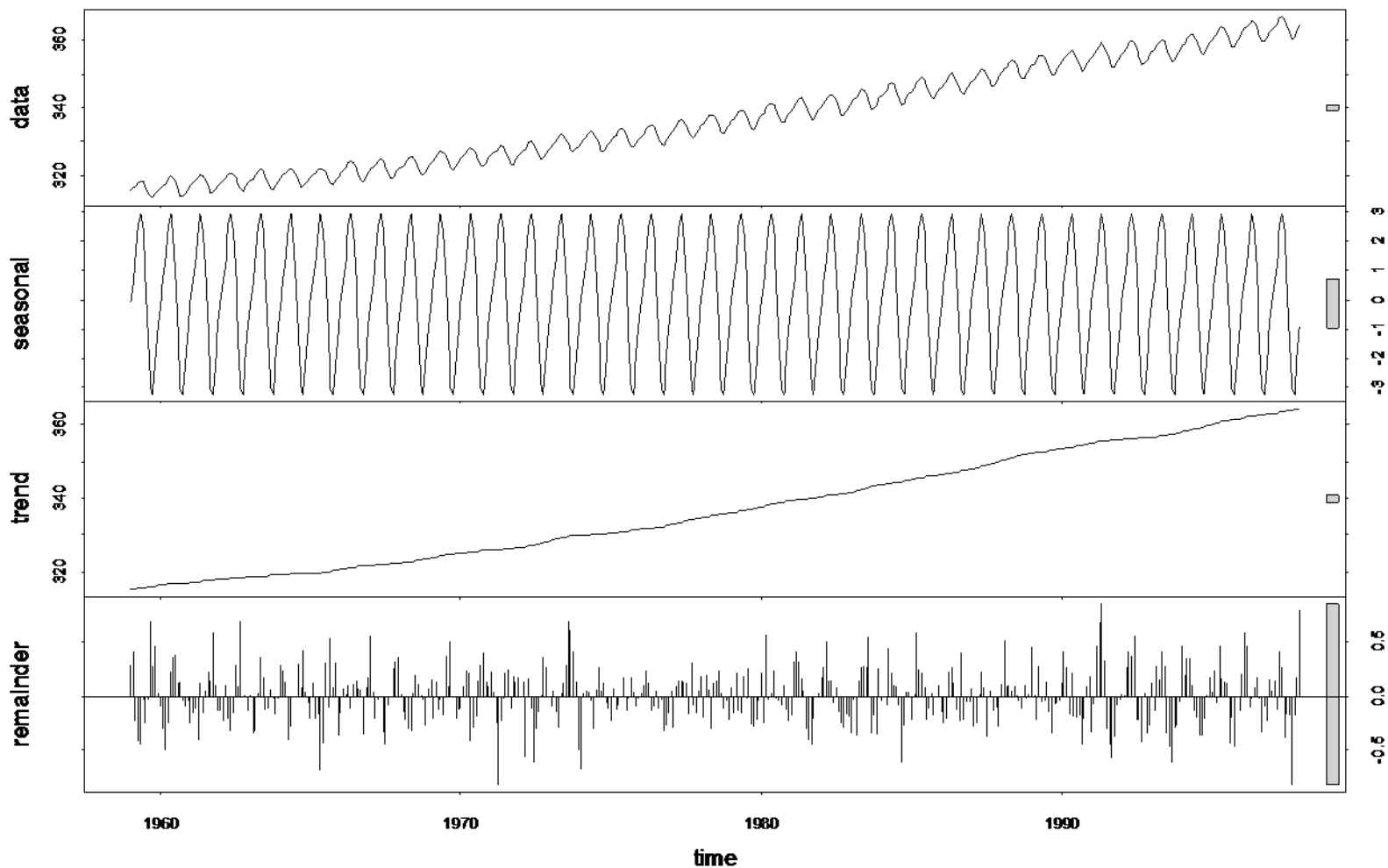
- 「科学」とは、その対象で定義するのではなく、
扱るところの方法（プロセス）で定義される
 - 何でも科学になる
 - 科学の対象は無限
 - 「手続きを踏めば再現する」ことを信じる
 - 「統計科学」の方法
 - 観測現象の **因果関係** を分析し仮説的法則を起案
 - 仮説的法則すなわち「**モデル**」を関連する事実当てはめ、経験則を与える。
 - Intelligenceとは、AssociationにてPhenomenaをControlすること也、夏目金之助,1901: 文学論ノート
 - 事実の分類のニーズを検討するために得られたモデルのパフォーマンスをチェック

CO2濃度 (PPM)と時間との**関連**: 経験則は？

Mauna Loa Atmospheric CO2 Concentration



季節性と長期上昇傾向の分離



: PM2.5問題を例にして

統計数理の環境問題における役割

有害微小物質「PM2.5」に環境基準 環境省提示へ (朝日新聞平成21年5月28日朝刊1面より)

- 空気中に漂い、吸い込むと肺がんや循環器疾患の原因にもなる
微小粒子状物質「PM2.5」について、環境省は先行する米国と同レベルの環境基準を設ける案を固めた。PM2.5は従来の規制物質よりさらに小さく、重い健康被害につながる恐れがあるとされていた。
- 直径が10マイクロメートル(マイクロ=100万分の1)以下の浮遊粒子状物質(SPM)にはすでに環境基準があり、大気汚染防止法のほか、大都市圏では自動車NOX・PM法で排出も規制されている。
- PM2.5は、SPMに含まれるが、**直径が2.5マイクロメートル以下の粒子**をさす。ディーゼル車の排ガスや工場の煙などに多く含まれる。粒子がより小さいのでとらえにくかった。だが、肺の奥深くまで届いて沈着しやすく、SPM規制で主に想定する呼吸器疾患だけでなく、肺がんや循環器疾患の原因にもなるとされる。
- 今回提示する基準は、**年平均で1立方メートル当たり15マイクログラム、日平均で同35マイクログラム**で米国と同じ。世界保健機関(WHO)の指針より緩いが欧州連合(EU)より厳しくした。この基準なら肺がんなどの健康被害は出にくいという。
- 日本国内の都市部のほとんどが、この基準を上回るとみられる。基準を達成するためには車や工場などの排出規制を進める必要があるが、排出源からの程度出て、どれくらい規制すればよいかなどは今後検討することになる。

微小粒子状物質PM_{2.5}問題とは

- 平成21年9月9日
 - 環境大臣 齊藤鉄夫
 - 「微小粒子状物質による大気の汚染に係る環境基準について」
環境基本法第16条第1項の規定による微小粒子状物質による大気の汚染に係る環境上の条件につき人の健康を保護する上で維持することが望ましい基準(以下「環境基準」という。)及びその達成期間は、次のとおりとする。

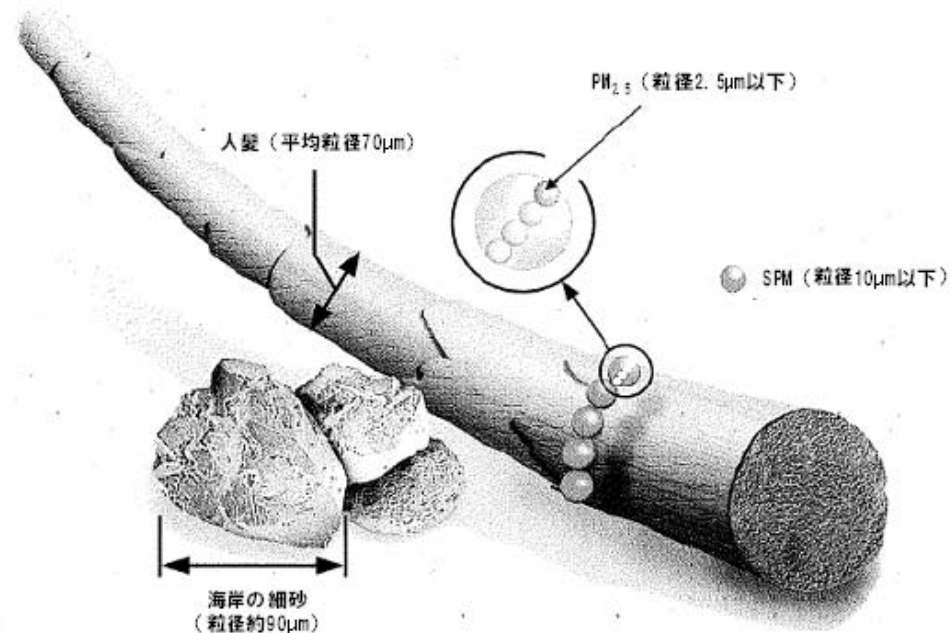


図 粒子の大きさ（人髪や海岸細砂との比較）（概念図）

http://www.env.go.jp/press/file_view.php?serial=12545&hou_id=10473

環境省PM_{2.5}環境基準

- 第1 環境基準

- 1 微小粒子状物質に係る環境基準は、次のとおりとする。
1年平均値が $15\mu\text{g}/\text{m}^3$ 以下であり、かつ、1日平均値が $35\mu\text{g}/\text{m}^3$ 以下であること。
- 2 1の環境基準は、微小粒子状物質による大気汚染の状況を的確に把握することができる場所において、濾過捕集による質量濃度測定方法又はこの方法によって測定された質量濃度と等価な値が得られると認められる自動測定機による方法により測定した場合における測定値によるものとする。
- 3 1の環境基準は、工業専用地域、車道その他一般公衆が通常生活していない地域又は場所については、適用しない。
- 4 微小粒子状物質とは、大気中に浮遊する粒子状物質であって、粒径が $2.5\mu\text{m}$ の粒子を50%の割合で分離できる分粒装置を用いて、より粒径の大きい粒子を除去した後採取される粒子をいう。

- 第2 達成期間

- 微小粒子状物質による大気汚染に係る環境基準は、維持され又は早期達成に努めるものとする。



日常生活におけるPM2.5暴露

我が国4都市のPM_{2.5} 時系列トレンド:期待値のトレンドと分散のトレンド

環境省中央環境審議会大気汚染部会の作業部会

環境変化を可視化する

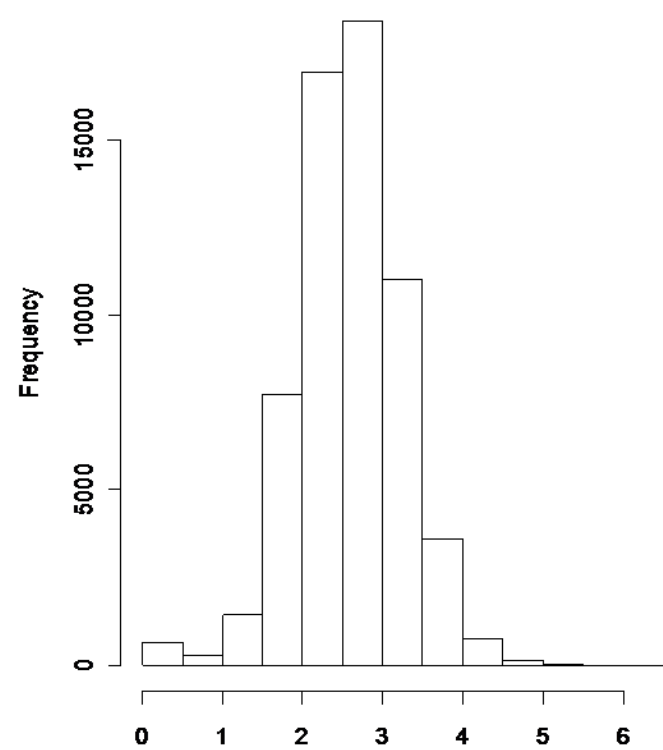
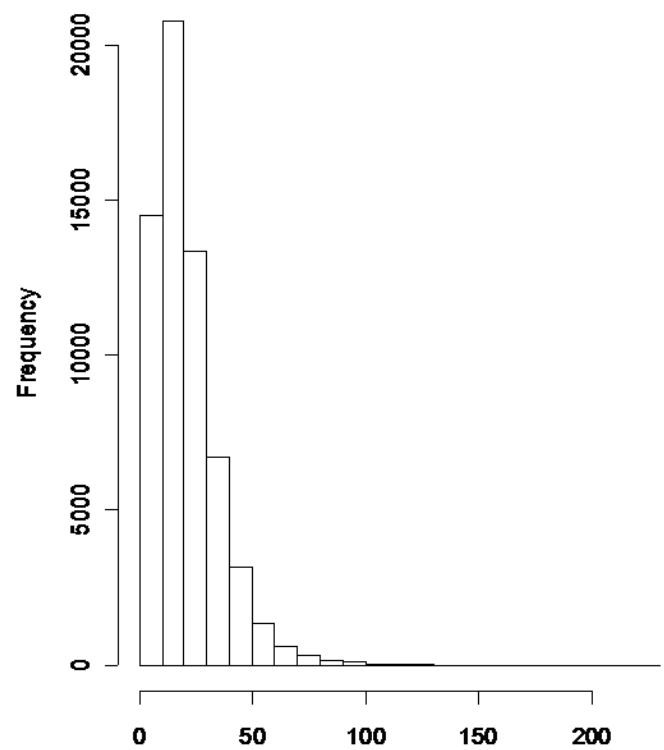
PM_{2.5}濃度の動きを調べる

- 測定対象
 - PM_{2.5}濃度 (50°C加熱方式TEOM) : $\mu\text{g}/\text{m}^3$
- 地域
 - 東京都板橋区
 - 大阪府守口市
 - 福岡県福岡市
- 測定時点・測定間隔
 - 2001年4月1日0時から2007年3月31日23時まで
 - 7年間の毎時間測定
 - 機器故障などによる長期欠測が生じている

可視化の目的と方法

- 主要な目的(変化の傾向を知る)
 - 平均的な動きの傾向
 - 期待値トレンド周りの残差分散のトレンド
 - 周期トレンド
 - 24時間周期, 1週周期, 1年周期
 - 長期トレンド
 - 外れ値抽出
 - 短期的に高濃度水準が何時間程度続くか(自己相関)
- 主要な方法
 - 若浦(2004)応用統計学
 - 一般化加法モデル当てはめ
- 簡単のために板橋地区の解析結果を主として紹介

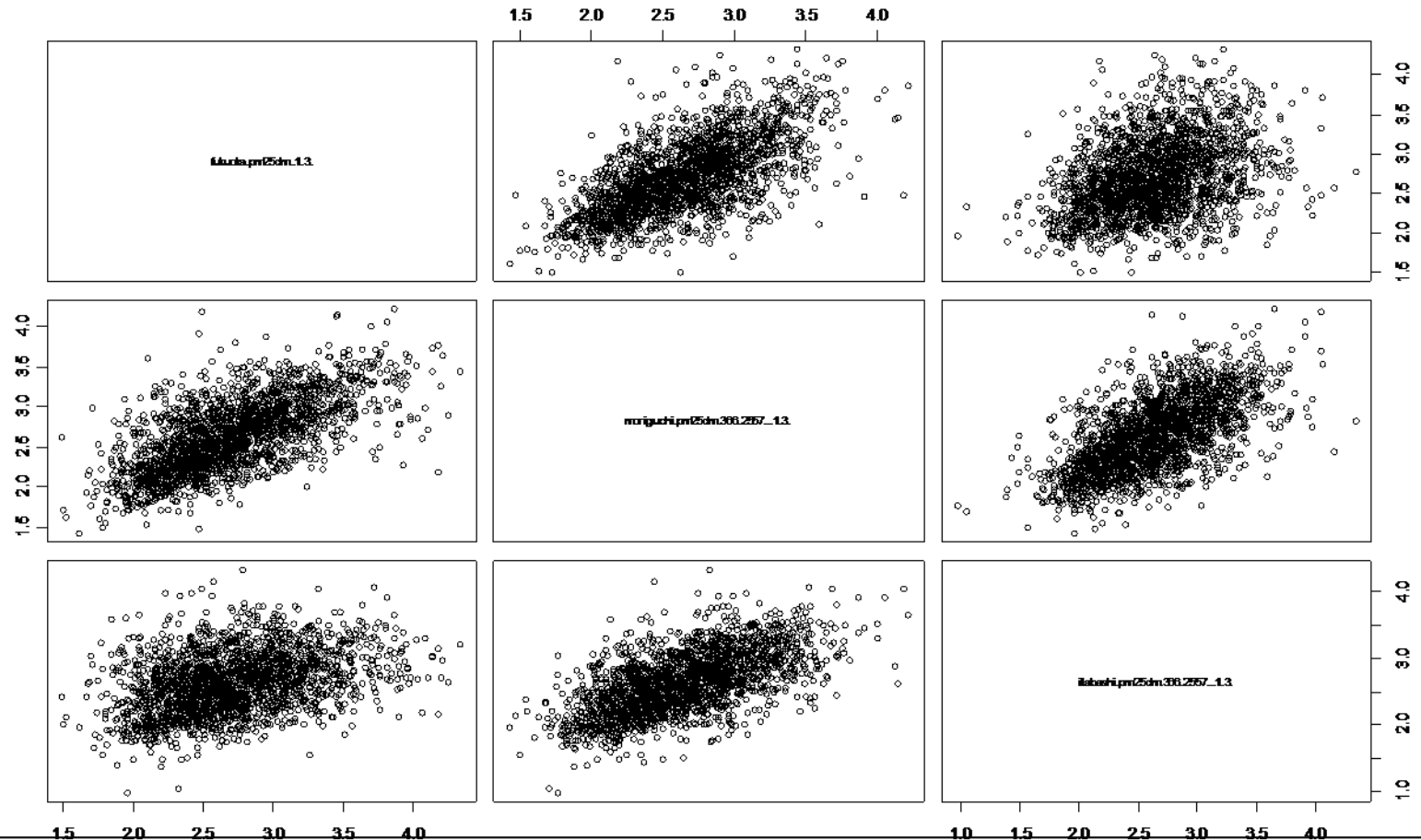
重量濃度を立方根変換したら対称化実現 一粒の半径の分布が対称に近い？ - 定説は対数変換



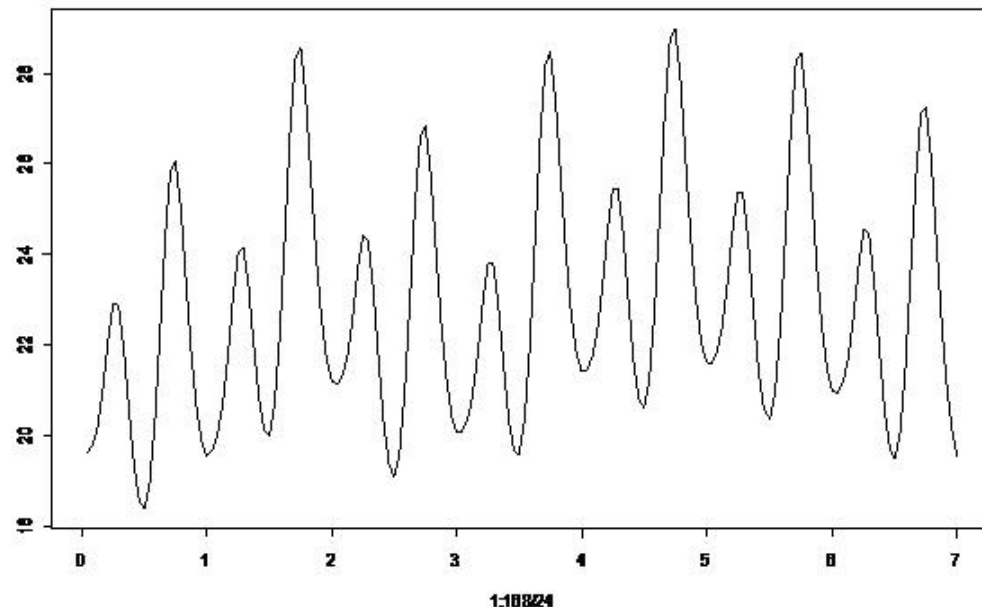
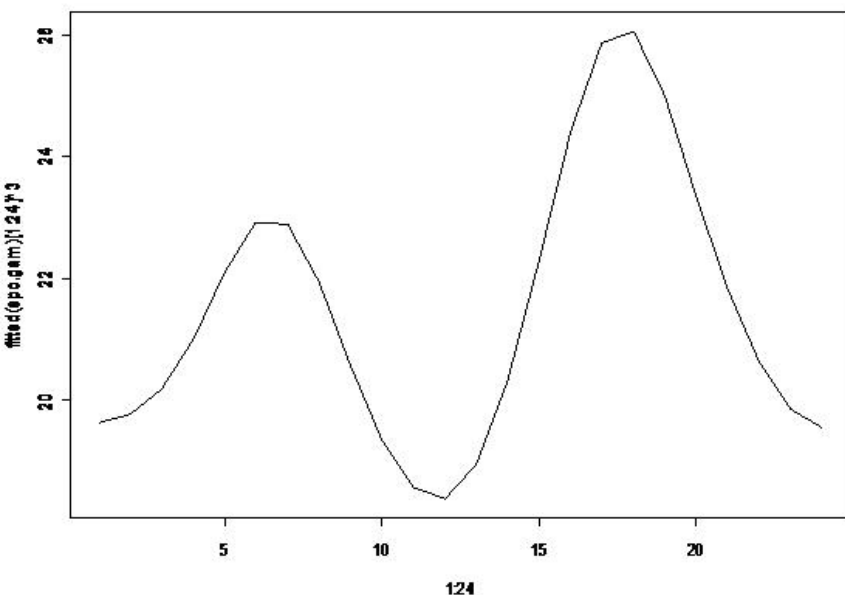
上記は、板橋データのヒストグラム:4地点すべてで変換による対称化再現！

24時間1/3乗平均値の3地点相関:局地的問題

$\text{cor}(\text{東京、大阪})=0.61, \text{cor}(\text{大阪、福岡})=0.65, \text{cor}(\text{東京、福岡})=0.36$

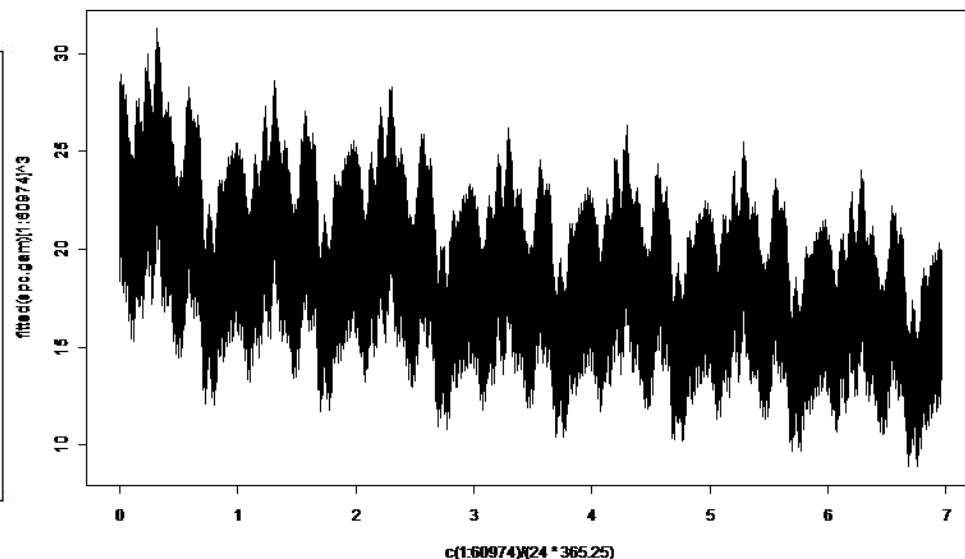
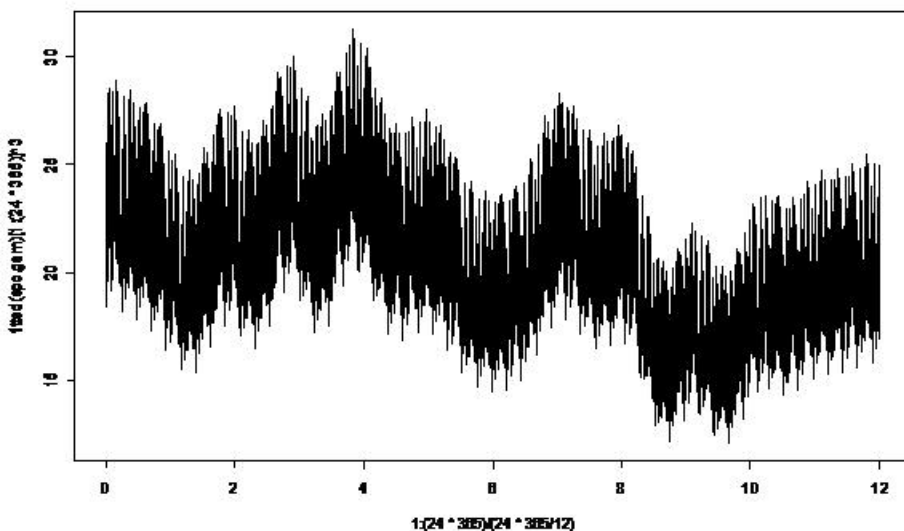


板橋：日内変動(朝と夕方が高い:昼・夜間低い)
週内変動日火土が低い:月水木金が高い
人間生活起因？

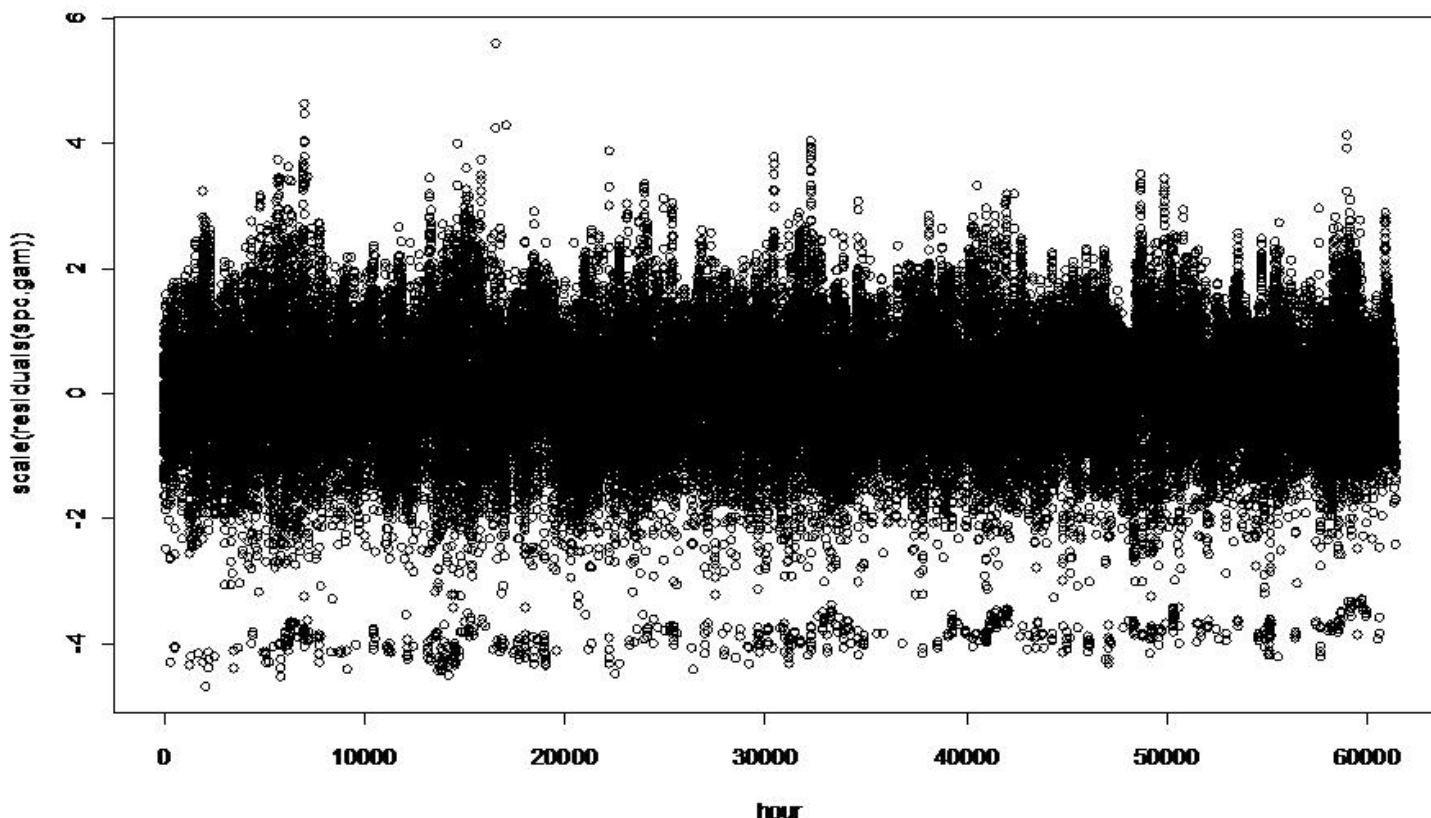


年間変動：夏場が高い、正月は低い

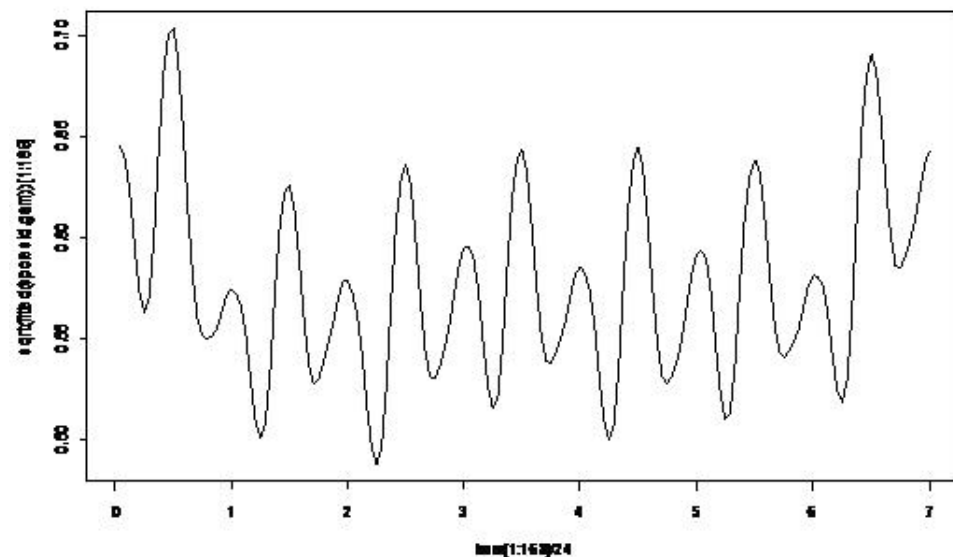
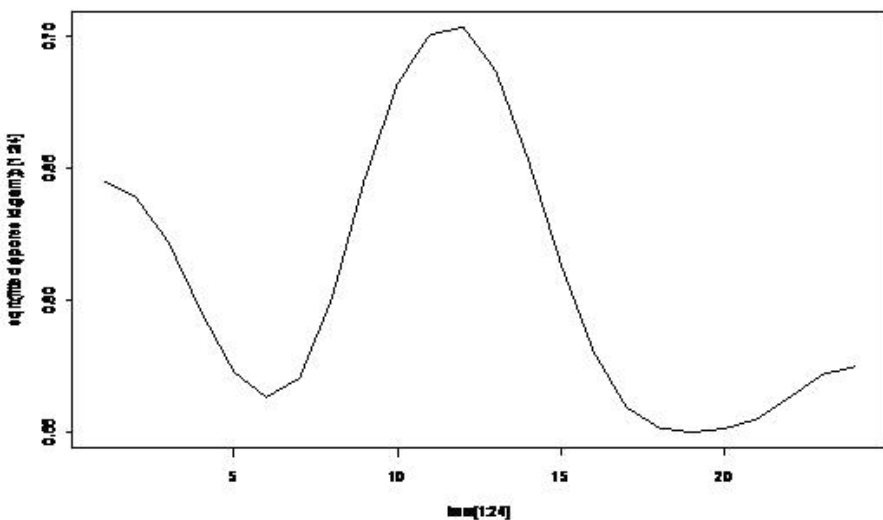
長期傾向：7年間で着実な減少



種々の傾向を引き去った後の残りの成分(残差)
(測定方法の問題で検出限界以下となる現象多発)

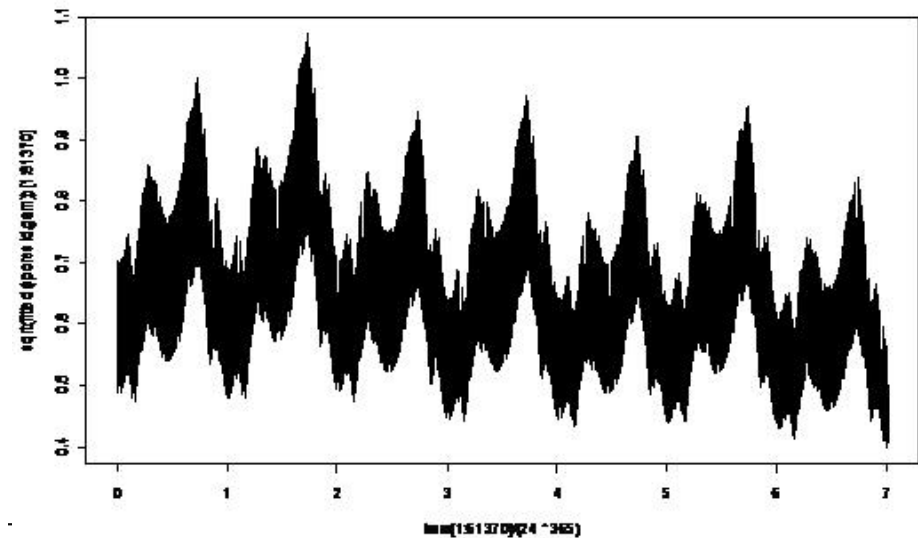
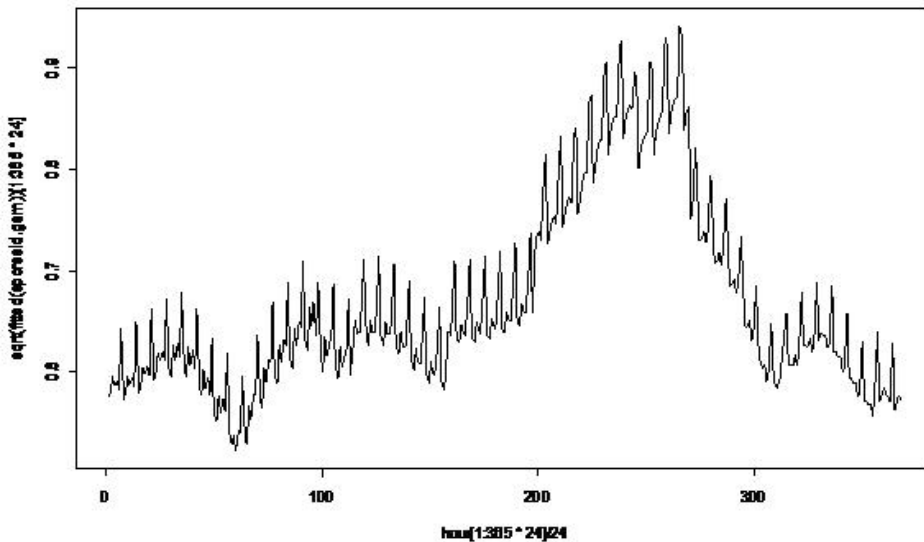


残差の二乗の大きさ(ばらつき)の傾向は？
日内変動: 昼間はばらつきが多い
週内変動: 土日のばらつきが大きい
生活の影響





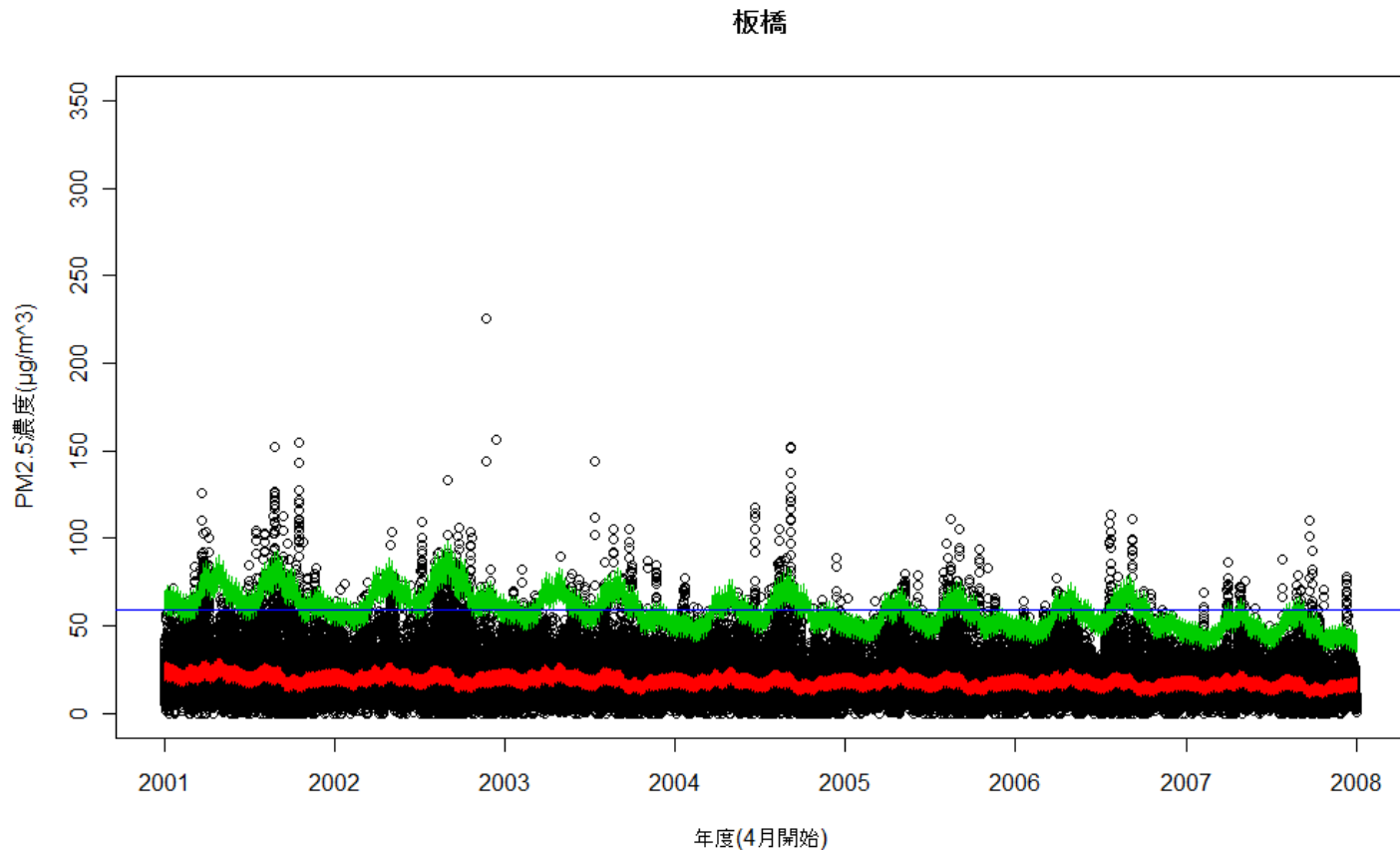
年内変動：11-12月のばらつきが大 経年変化：H14をピークとし徐々に減少



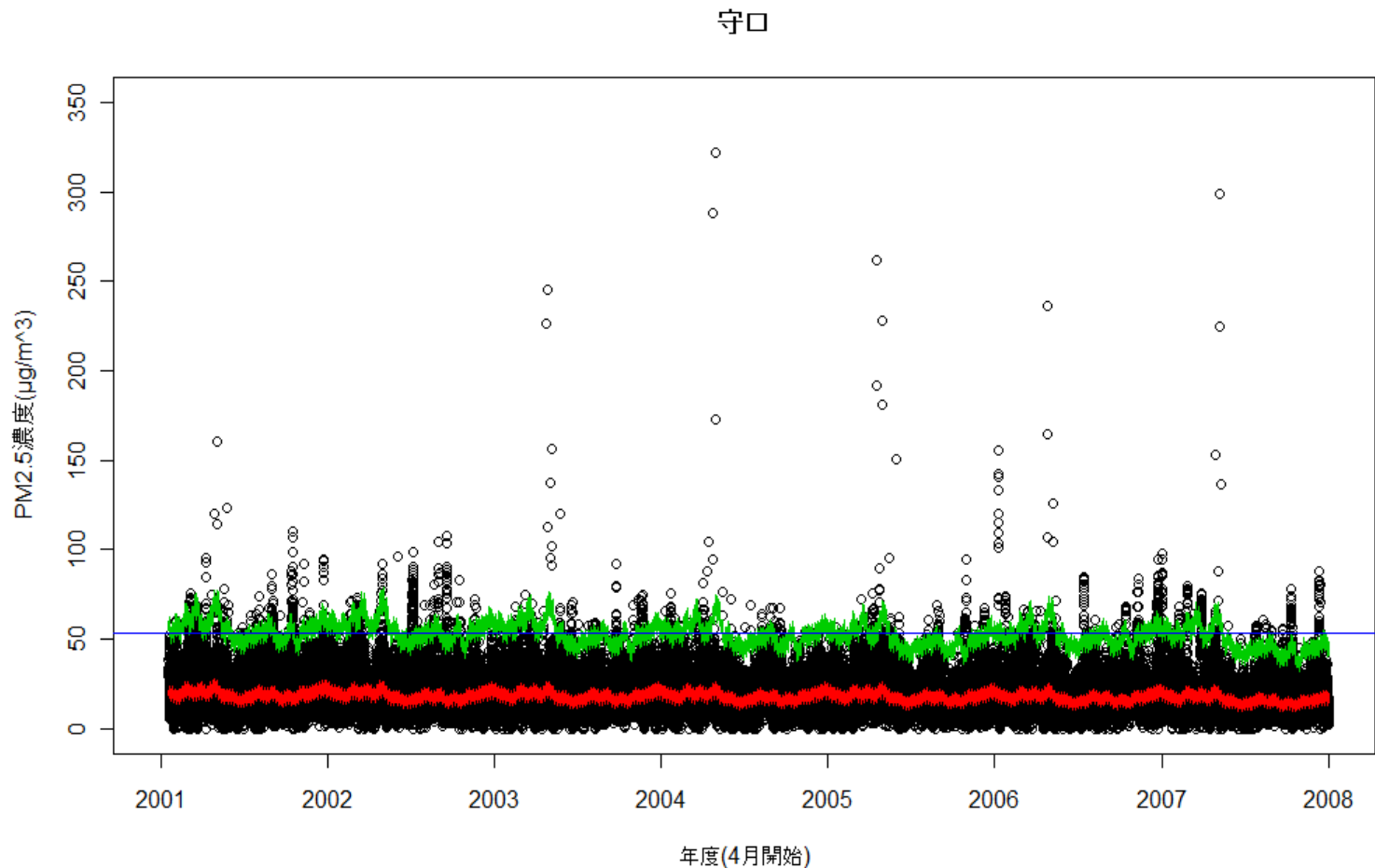
2010/11/02

ISM公開講演会
「環境問題を科学的に考えよう」

板橋：期待値推計値（赤線）と期待値+2σ（緑線）
濃度に再変換：

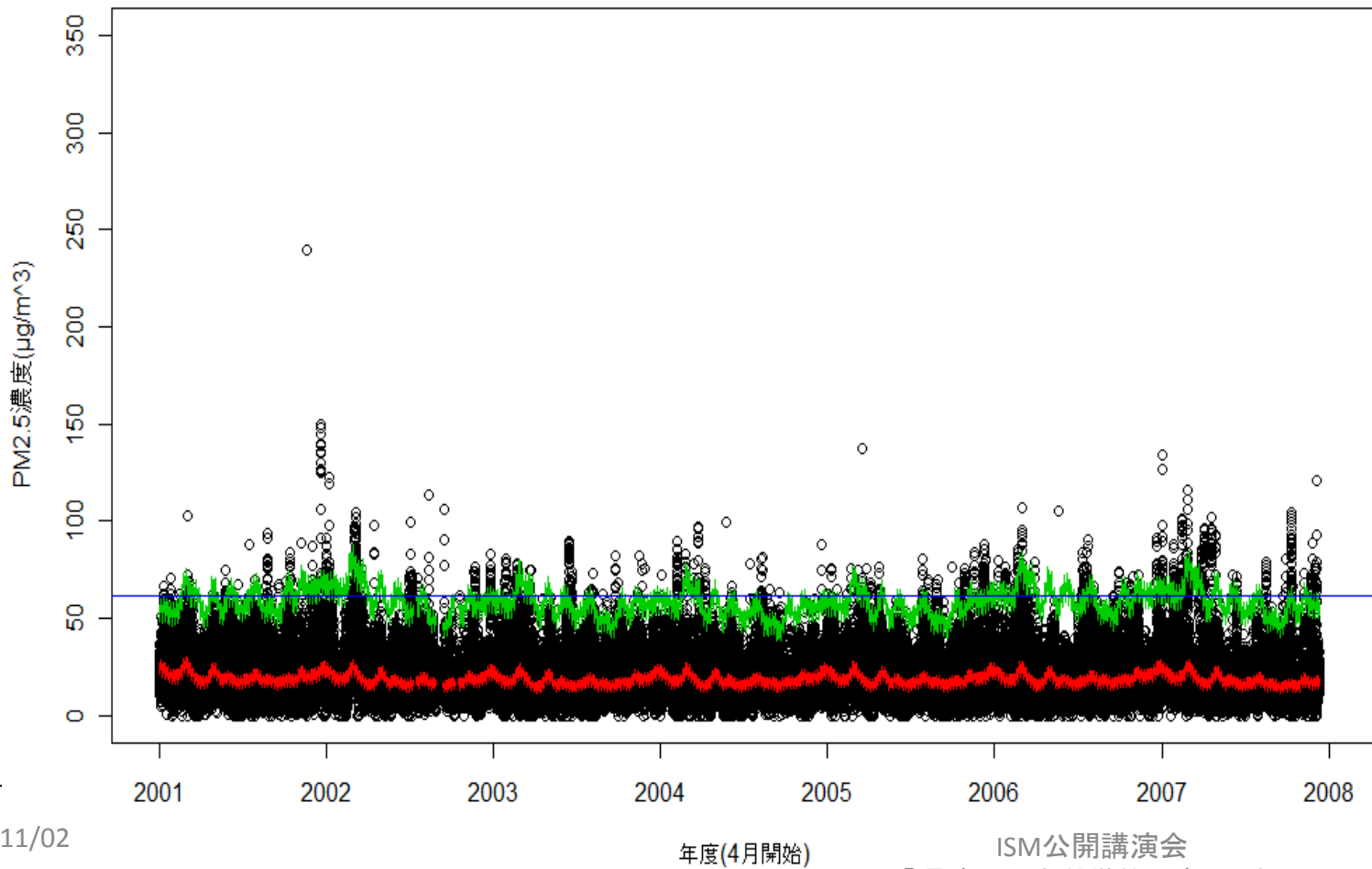


守口:外れ値は花火大会



福岡

福岡



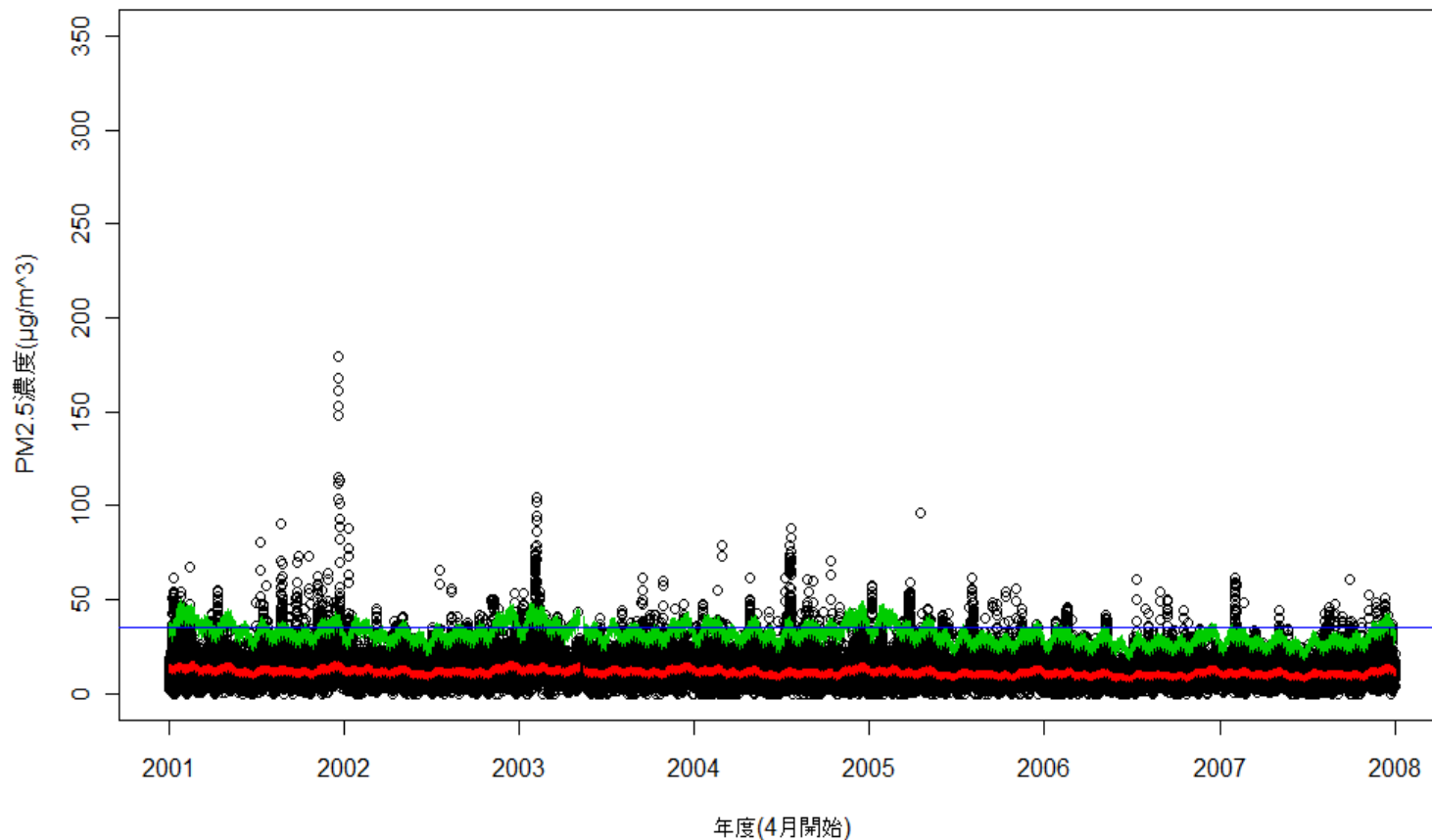
2010/11/02

年度(4月開始)

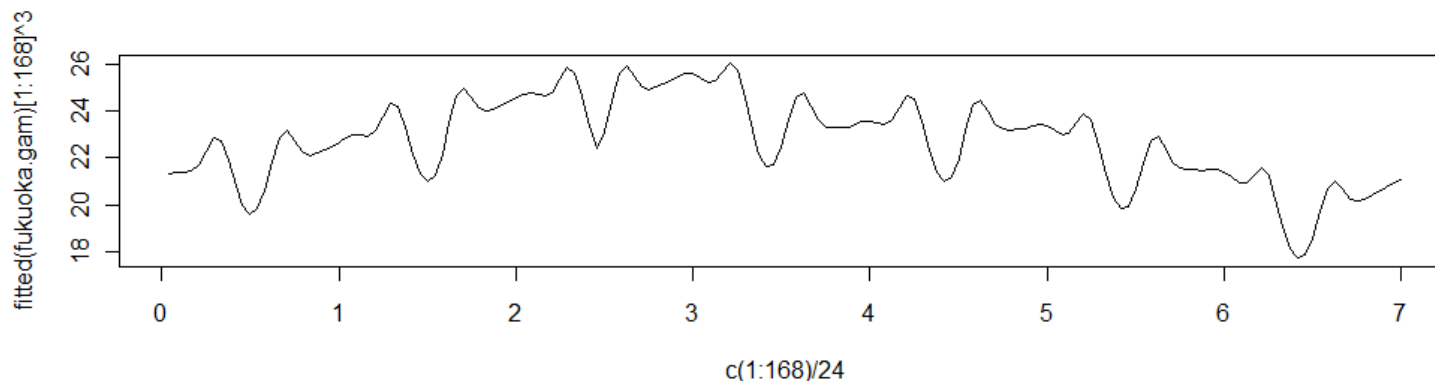
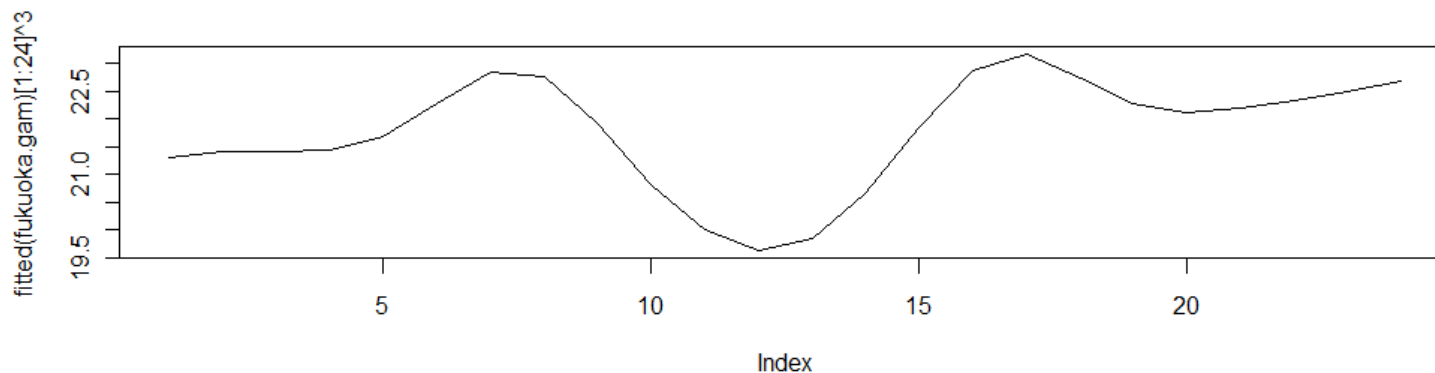
ISM公開講演会
「環境問題を科学的に考えよう」

札幌(追加)

札幌

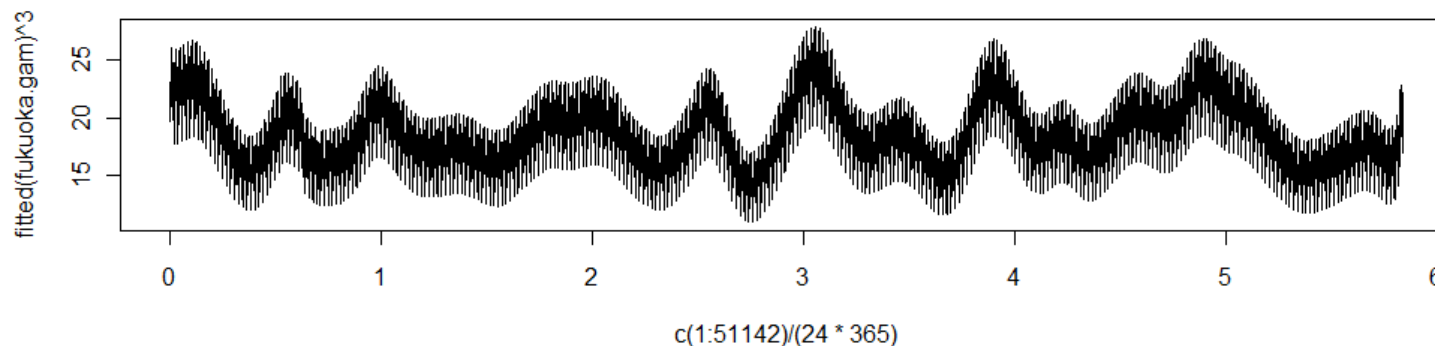
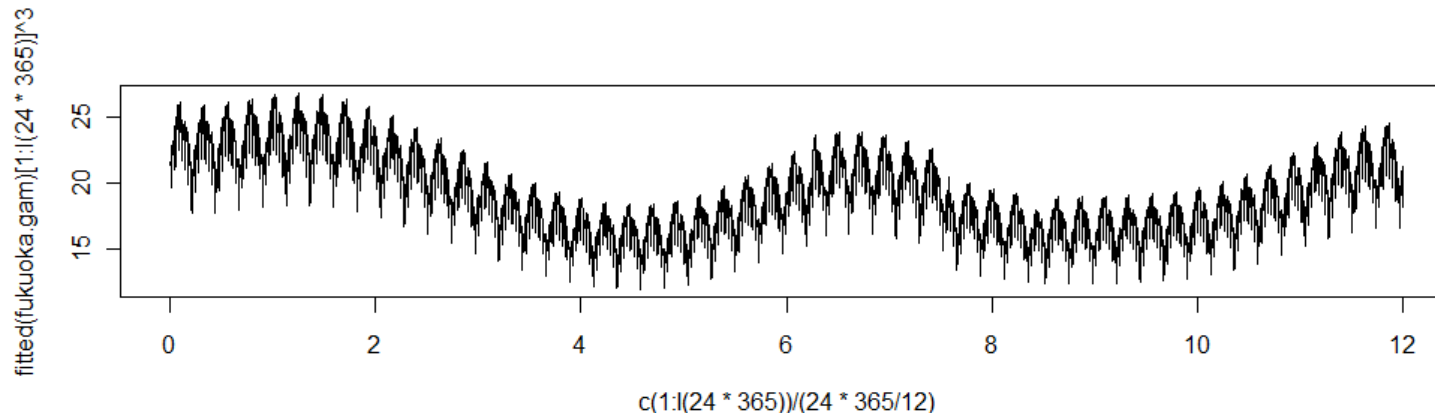


福岡の分析(大陸の影響?): 日間変動と週間変動
板橋と年度開始が異なるので曜日は月曜から開始
日内変動はよく似た傾向だが、夜も高い状況が続く!

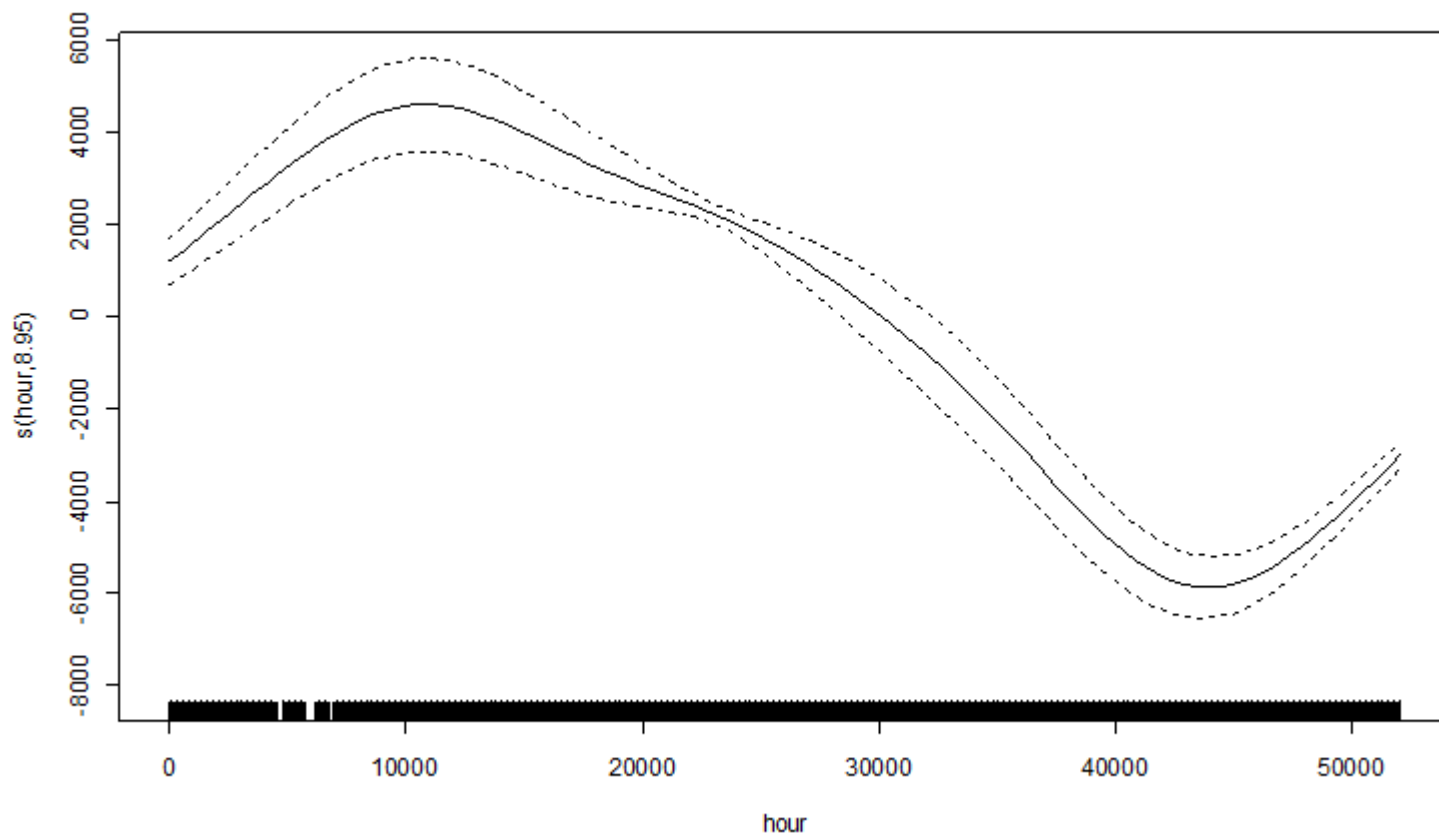


福岡;年内変動と長期変動

4月5月が高く、7月8月が低い10月が高く冬は低い



福岡の長期トレンド: 最近まで減少傾向にあったが直近は増加 黄砂も含めた大陸の影響?



分析からの暫定的結論

- 知見
 - 日内変動、週内変動、年間変動、長期変動全てが、期待値・分散共に存在
 - 昼と深夜が低い:福岡は夜落ち切らない
 - 土・日は低い
 - 季節変動は地域性がある
 - 長期低下トレンド(福岡は明確でない)
 - 外れ値の原因
 - 花火大会、一部の黄砂(確認が不完全)
 - 基準値達成の認識については報道通り
- 今後の課題(慶応大学南先生にデータ送付)
 - ◎14地点のデータ分析による空間偏相関構造の確認
 - ◎気象データとの2変量時系列データ解析
 - ◎PM_{2.5}組成も含めた分析

PM_{2.5}自動測定方式の認定事業
環境基準導入に伴い全国で自動測定
精確な方式に比べて遜色のない自動測定
EPA方式から抜き取り検査方式に

環境を測ることの難しさ

PM2.5を計る自動機器の問題：データはどうしてできるのか？

- 新たなPM_{2.5}測定方法が基準測定方式に比べて十分なAccuracy(精確さ=真度+精度Trueness & Precision, ISO 5725)を持っているかを検討
 - EPA方式(米国環境庁方式)
 - 抜き取り検査の設計
 - 以下のスライドは、
椿がプロトタイプをフリーの統計ソフトRで
プログラミングし、
(財)日本環境衛生センターの高橋克行氏が
詳細作業に展開し、説明用PPTなどを作成し、
公開した資料より抜粋

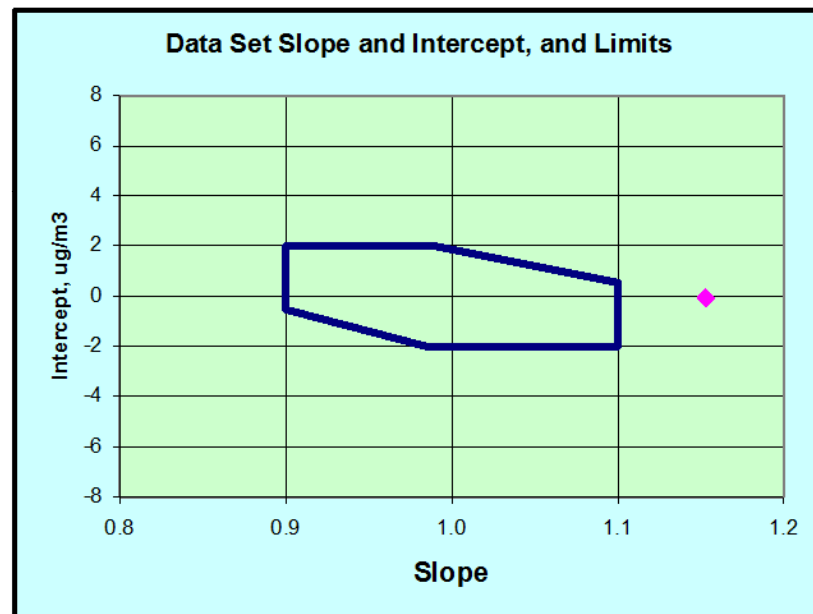
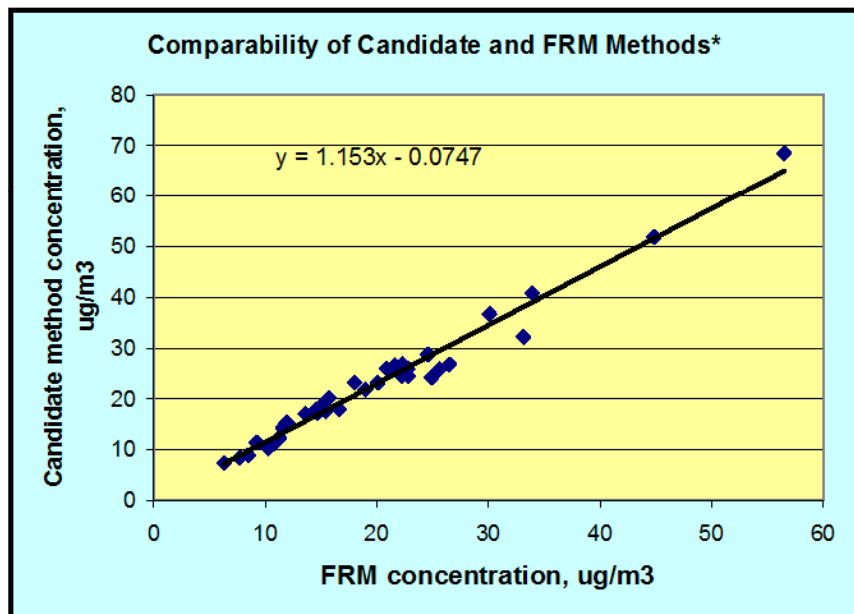
測定方式の合否判定評価

- 川崎大師での並行測定結果に適用
 - 使用したデータは夏季40、冬季40となる次の期間とした
 - 夏季:2007年7月17日～8月25日
 - 冬季:2008年1月15日～2月24日(ただし2月3日は降雪のため欠測)
- 評価対象機器
- EPA評価法による結果
 - 夏季のデータは不合格
 - 傾き, 切片ともに適合範囲外となった
 - 冬季のデータは合格
 - …となるデータセットであった
 - EPA評価で成績の良かったS社モニター

EPA法による評価(夏季)

Regression statistics		Slope ¹	Intercept ²	Correlation (r)
Statistics for this test site:		1.153	-0.075	0.98617
Limits for PM2.5 Class III	Upper:	1.100	-0.170	
	Lower:	0.900	-2.000	0.95000
Test Results (Pass/Fail):		FAIL	FAIL	PASS

¹Multiplicative bias ²Additive bias



EPAが公開している評価用エクセルテンプレートを利用した

日本が用いた検査方式と管理限界線

$$Du = K_{1-\alpha/2} \sqrt{\frac{C_A^2 X^2 + (1 - \frac{C_A^2}{m}) \sigma_X^2}{m}}$$

基準測定方式の測定結果を横軸(X軸)に、新たな測定方式の測定結果を縦軸(Y軸)として同一試料に対する測定結果を打点

直線 $Y=X$ と点の距離 D について判定限界 D_U を作り、 n 回の測定結果中 r 個以下しか判定限界線外($D > D_U$)のとき、測定方式を合格と判断

なお、今回の実験で得られる測定結果は試料を m 回併行測定して得られた値を平均して得られるものとする。

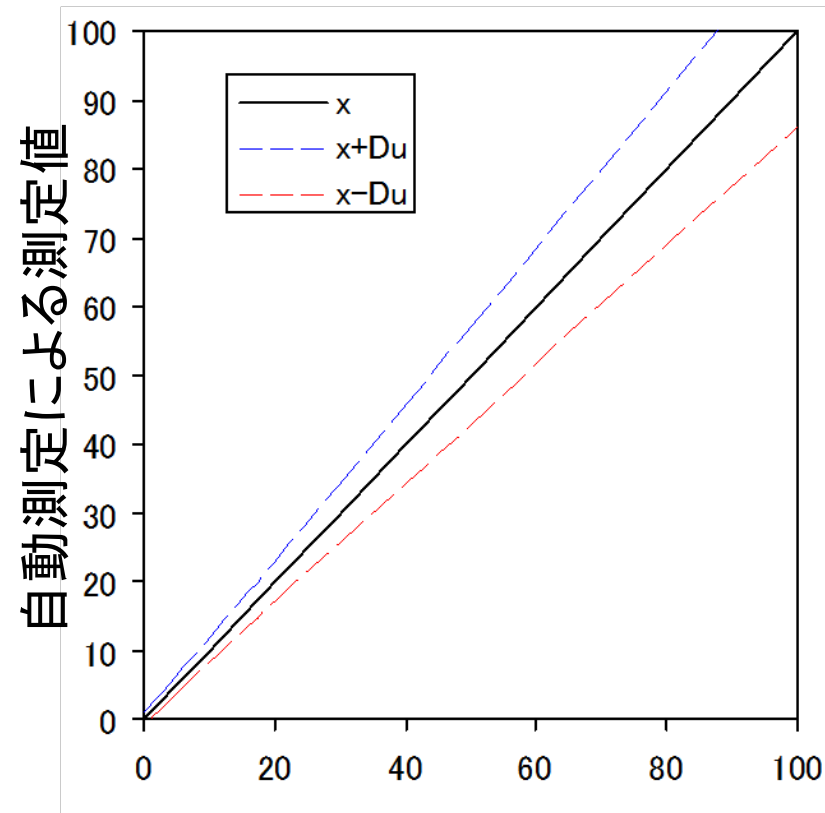
C_A^2 : 合格とすべき水準

σ_X^2 : 基準測定方式の誤差分散の推定値

$K_{1-\alpha/2}$: 標準正規分布の累積分布関数の $1-\alpha/2$ 点

限界線の外にはずれたデータ数: r

新たな測定方式が切片 $\delta=0$, 傾き $\gamma=1, C \leq C_A$
(合格させたいQuality Leve (AQL)を満たしている時)、
個々の測定結果がこの範囲内に入る確率は $1-\alpha$ 以上
となるように検査方式を設計



標準法による測定値

最終案はもっと複雑

測定検査方式の設計：AQLにある測定方法

- n 個の測定結果中、 r 個以下の観測結果がこの区間外に入る合格確率 P_A は、近似的に

- $$P_A = \sum_{k=0}^r \binom{n}{k} \alpha^k (1 - \alpha)^{n-k}$$

- P_A は、例えば0.99以上とすることが必要
- α を定めると、適合方式合格率を P_A 以上とする r が定まる

不適合方式不合格率の最大化

- Least Favorable Case:
- 一番不合格にしにくい不合格方式に対処する
 - $C_Y \geq C_R$ となる不適合測定方法の中で、最も合格率が高くなってしまう場合
 - $\delta=0, \gamma=1$ の偏りのない測定方式でばらつきが問題の時
- 抜き取り検査方式判定限界外に出る確率 β

$$- \beta = 2(1 - \Phi(\Delta K_{1-\alpha/2}))$$

$$\Delta^2 = \frac{C_A^2 X^2 + \left(1 - \frac{C_A^2}{m}\right) \sigma_X^2}{C_R^2 X^2 + \left(1 - \frac{C_R^2}{m}\right) \sigma_X^2}$$

β の最小値: 精度保証すべき測定範囲 $M_L \leq M \leq M_U$

$$\beta_{\text{MIN}} = 2 \left\{ 1 - \Phi \left(\frac{\sqrt{C_A^2 M_L^2 + \left(1 - \frac{C_A^2}{m}\right) \sigma_X^2}}{\sqrt{C_R^2 M_L^2 + \left(1 - \frac{C_R^2}{m}\right) \sigma_X^2}} K_{1-\alpha/2} \right) \right\}$$

• ○不適合方式不合格確率 P_R の最大化

$$- P_R = 1 - \sum_{k=0}^r \binom{n}{k} \beta_{\text{MIN}}^k (1 - \beta_{\text{MIN}})^{n-k}$$

- α 、 r の組み合わせは P_R が最大になるように決定

社会の価値選択

微小粒子状物質の定量的リスク評価手法について

H.20.11:環境省中央環境審議会大気環境部会

微小粒子状物質リスク評価手法専門委員会報告から

環境基準の考え方

技術専門職の環境倫理

— 当たり前のコト: 倫理の進化 —

アメリカ土木技術者協会(ASCE)倫理規定(1977)

- 技術者は、生活の質を高めるように環境を改善するように行動することが望ましい(should)
- 1996年改訂規定
 - 技術者は、公衆の安全・健康・福利を最優先しなければならない。
 - 技術者の職務行動は継続的発展の原理に従っていなければならない。
 - 公衆の安全・健康・福利を危うくする、あるいは、継続的発展の原理が無視された状況で、技術者の専門的判断が却下された場合には、その考えられる帰結を顧客又は雇用主に報告しなければならない。
 - 他人または企業が倫理規定違反を犯したかもしれないと信じる知識ないしは理由のある技術者は、適切な権限を持ったものに文書でその情報を提出しなければならない。更に、権限者と協力して必要と思われる追加情報や支援を行わなければならない

技術者の努力目標の混乱

Harris技術倫理より

- 比較規準
 - 通常受け入れているリスクより大きくないこと
- 正常性規準
 - 自然状態と同じ程度であること
- 最適汚染削減の規準
 - Cost/ Benefit Analysis上の効用関数が最適となること
- 最大保護の基準
 - 人体影響の可能性のあるリスクが全て排除されること
- 証明可能危害の規準
 - 人体影響が立証されているリスクが全て排除されること

技術者にとって環境基準とは？

2つの倫理の妥協点は

- 社会の倫理(功利主義)
 - » 個人の行為はその影響をうける者に最大の効用を与えるのが正しい
- 個人の倫理(Respect for Person)
 - » モラル体現者としての各個人を平等に尊重できるのが正しい行為
- Harris et al.(1995)の提言
 - 危害度規準(degree of harm criterion)
 - » 人体影響の差し迫った脅威が、経済的に合理的な費用で危険性のないものになっていること。
 - 「技術者は、公衆の健康、安全および福利ならびに人間の健康に影響する限り環境の完全性を最優先する。」

環境目標値の考え方

- 環境目標値の目安となる数値は、当該物質の濃度がその水準以下であれば、その曝露により好ましからざる健康影響が起こらないことを目安として設定
- 健康影響の重篤度の観点から、好ましからざる健康影響の種類(エンドポイント)を定め、さらにその**健康影響と曝露濃度との関係を明らかにすることによって、健康影響が起こらない濃度水準を見いだす**

PM_{2.5}の場合

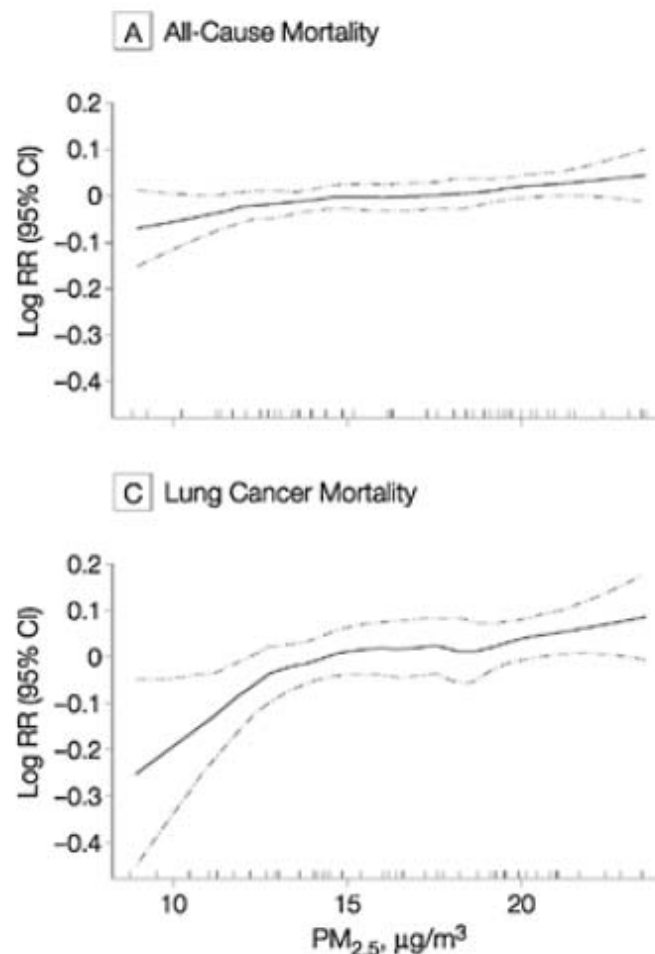
- WHO 大気質ガイドライン
 - 微小粒子状物質大気中濃度を、そのバックグラウンド濃度まで低減しない限り、いかなる濃度基準を設定しても、いくらかの残存リスクがありうる
 - 健康への悪影響に対する完全な保護を導くことはできない
 - 基準設定プロセスでは地域的な制限、能力、公衆衛生の優先性を考慮したうえで可能な限り低い濃度にすることを目標

米国EPA

- 短期曝露及び長期曝露の知見によって微小粒子状物質の閾値を検出することは困難
- 疫学知見の不確実性も考慮すれば、基準をゼロリスクレベルに設定するのではなく、
- 疫学知見に基づく曝露量－反応関係から健康影響が生じることが確からしい濃度水準を見いだし
- そこから適切な**安全幅**をもって公衆衛生を保護できる基準値を設定

長期暴露濃度の健康影響

- アメリカの疫学研究
 - 都市の比較
- 全死亡
 - 緩やかな上昇傾向
- 肺がん死の特徴
 - 低濃度で急減少傾向？
 - **不確実性は大きい！**
 - 統計が示せることはここまで
 - 社会が選択すること
 - 可能な限り低く
 - WHO $10\mu\text{g}/\text{m}^3$



拡大ACS研究、Popeら、2002より引用

EPAの選択: Risk & Evidence Based Policy Making?!

– 米国EPA スタッフの価値選択

- 15 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ の濃度範囲以下では、PM2.5 濃度と相対リスクの関連性の不確実性が拡大
- この領域に潜在的な閾値が存在する可能性
- 環境基準値: 年平均濃度として12~13 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ を目安 (U.S.EPA, 2005)
 - カルフォルニア州EPA踏襲

– EPA長官の価値選択

- 肺機能や症状等のエンドポイントに関する疫学研究が少ない等の理由から、PM_{2.5} 年間基準値を従来の15 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ より低濃度に設定する根拠として適切でないと判断 (U.S.EPA, 2006)

意思決定の統計数理(統計倫理)?

多次元リスクの最適化と制約付き最適化

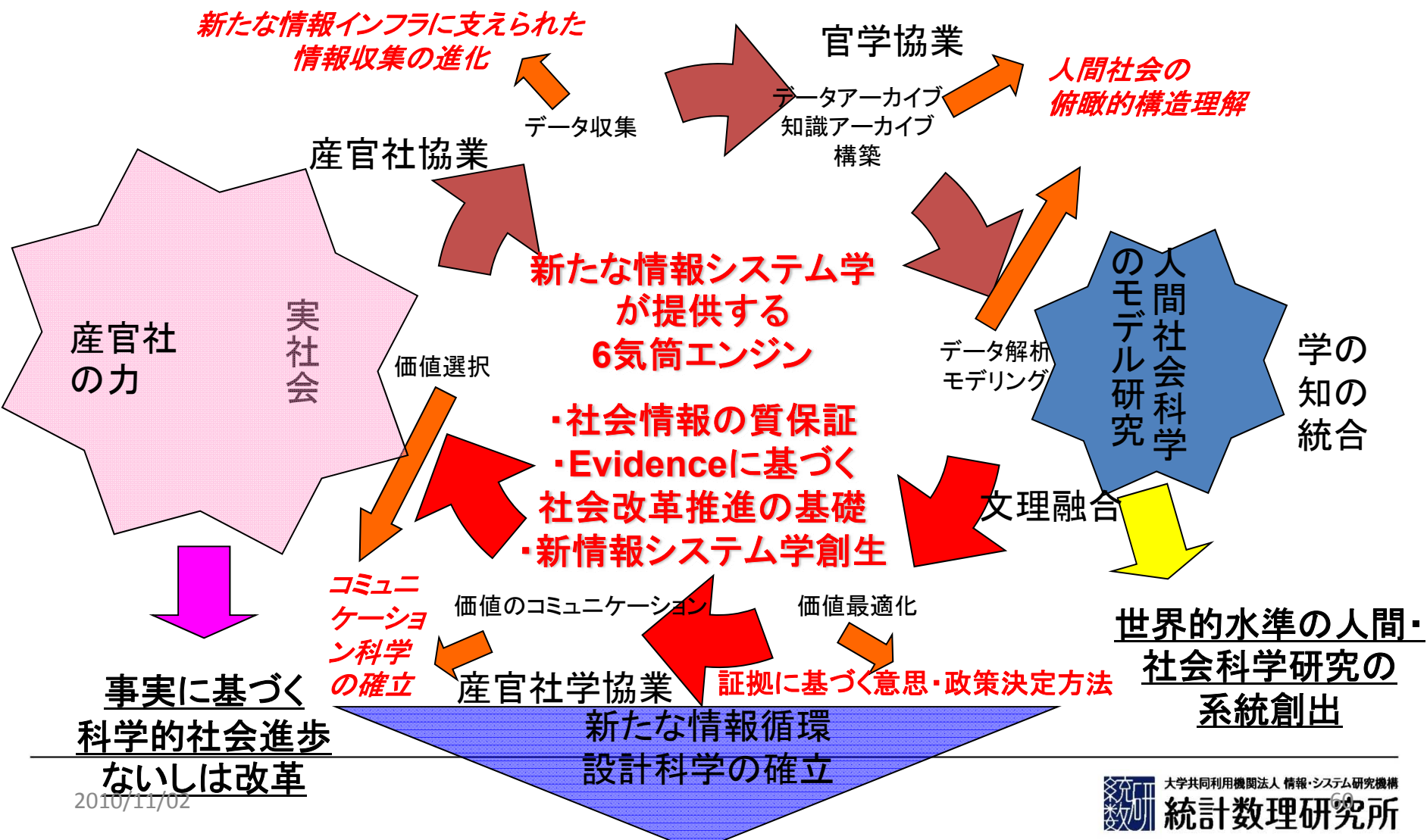
- 基本原理: Wald(1950)決定関数
 - リスクと要因あるいはアクションとの関係を近似するモデルの開発を前提として
 - **リスク関数(期待損失関数)最小化問題(功利主義)**で定式化
- 制約条件への留意
 - 社会の構成員としての各組織あるいは各個人(モラル人格)に対して, **一定以上の損失を与えることを防ぐ**
 - あるレベルの損失が生じる確率を一定水準以下に制御する制約条件
- △制約条件の選択
 - **当該社会における倫理規範(価値選択)**に依存
 - 人文社会科学の知: 社会のリスク選好度



情報・システム研究機構「データ中心・人間社会科学」が目指すコト
価値創出エンジンの概念設計

おわりに

情報・システム科学は社会改革のエンジン足りえるか？



ISM公開講演会「環境問題を科学的に考えよう」

ご清聴有難うございました