

第 16 回 電子航法研究所 研究発表会  
平成 28 年 6 月 10 日

# 発話音声で個々人の日常的健全性の確認を

塩見格 一

監視・通信領域

# ヒューマン・ファクター／ヒューマン・エラー

---

## [ 航空交通における現状 ]

- 1) 航空事故の8割は、その原因がヒューマン・エラーにあると言われている。  
人間と機械やシステムとの関係は、近年、多様化を増してきて、・・・。

## [ 航空管制官の関わった（残念ながら）有名な事例 ]

- 2) 1991年2月1日、ロサンゼルス空港滑走路上のSW5569便に、着陸してきたUS1493便が衝突した。
- 3) 2001年1月31日、焼津市上空でJA907便とJA958便がニアミスを起した。
- 4) 2002年7月1日、ドイツ南西部ユーバリンゲン上空でバシキール2937便とDHL611便が空中衝突した。

# ヒューマン・ファクターの管理の必要性和高度化

---

ヒューマン・ファクターはどのように管理できるのか？

例えば、運転免許証制度では、

- 1) “静的”, “巨視的”, “平均的” な人間像に基づいた管理が想定されている。

より高度なヒューマン・パフォーマンスの管理のためには、

- 2) 業務環境の変化等に “動的” に対応し、
- 3) リアルタイムに “微視的” な、
- 4) 個々人の能力や性格に対応し “個別的” な、管理技術の導入が必要だ！

↓↑

適正な状況認識, 適正な判断, 適正な制御行動の実施

“認識”, “判断”, “行動” を人間が行う場合, 人間の “健全性” の確保が必要だ！

## 例えば，社会問題としての重大バス事故

---

航空事故や鉄道事故に比較して，運転者の健全性の確保への取り組みが遅れている印象のあるバスに例を求めれば，・・・。

### [ 多数の死者を出したバス事故 ]

- 1) 1975年1月1日，青木湖バス転落事故
- 2) 1985年1月18日，犀川スキーバス転落事故

### [ 近年の深刻なバス事故 ]

- 3) 2007年2月18日，吹田スキーバス事故
- 4) 2012年4月29日，関越自動車道高速バス居眠り運転事故
- 5) 2014年3月3日，北陸自動車道夜行バス事故
- 6) 2016年1月15日，軽井沢スキーバス転落事故

## ヒューマン・ファクターの“健全性”の監視

---

安全性の向上を目的とする場合、エラーを起こす可能性としての人間をシステムから排除することは、今日、十分な実現性を有する選択肢になっているが、敢えて、システムに人間を関与させて、人間不在の場合に比較してもより高度な安全性を実現しようとするのであれば、これに関わる人間の“健全性”の監視と確保が必要不可欠となる。

さて、ヒューマン・エラーの低減を如何に図るか？

業務環境において、リアルタイムに、

作業者の“健全性”を評価する技術が必要である。

- ・ 生体から観測可能なデータとしては何があるのか？
- ・ 何を観測すれば、何と何を観測すれば、何と何と何を観測すれば、・・・。

発話音声を観測すれば何が分かるのか？ “健全性”との相関は？

# 音声信号の分析手法

---

## [2つの分析手法]

### 1) 古典的な周波数分析

→ フーリエ解析, 時間局所性を問題とする場合にはウェーブレット解析

### 2) 未だ良くは分かっていないカオス論的な分析

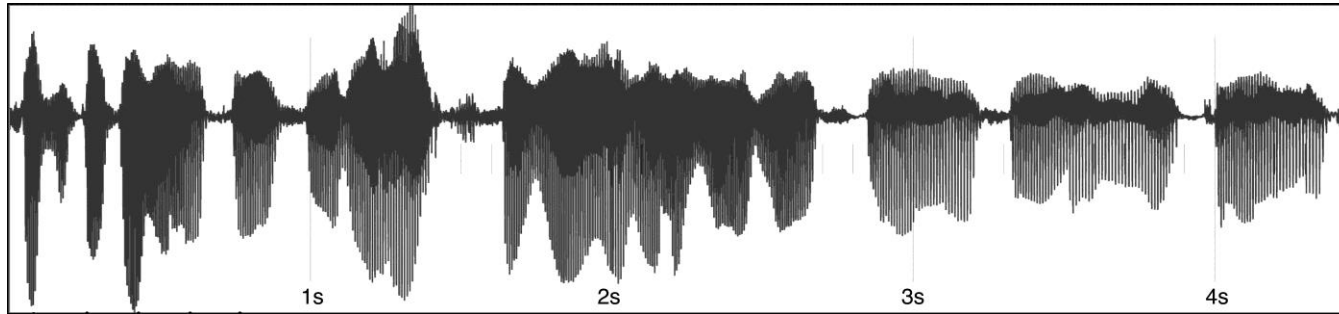
→ 時間局所的なカオス性はどの様に評価可能か? 何が可能になるのか?

2.1) SiCECA アルゴリズムを考案した。

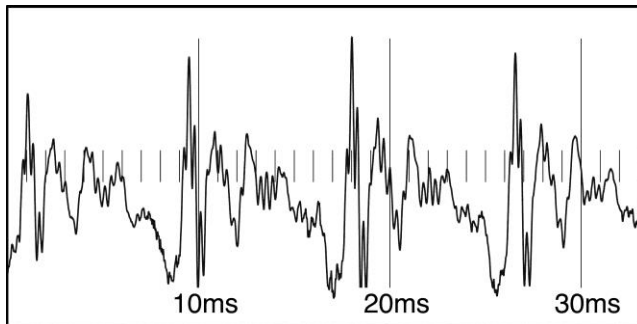
2.2) 発話音声から発話者の覚醒度の評価が可能となれば, . . . . .。

→ ヒューマン・エラーの防止に役立てることができる筈だ!

# 音声信号の周波数解析

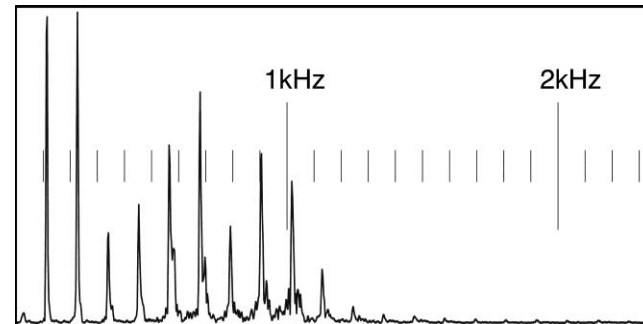


音声信号波形



「あ」音の波形

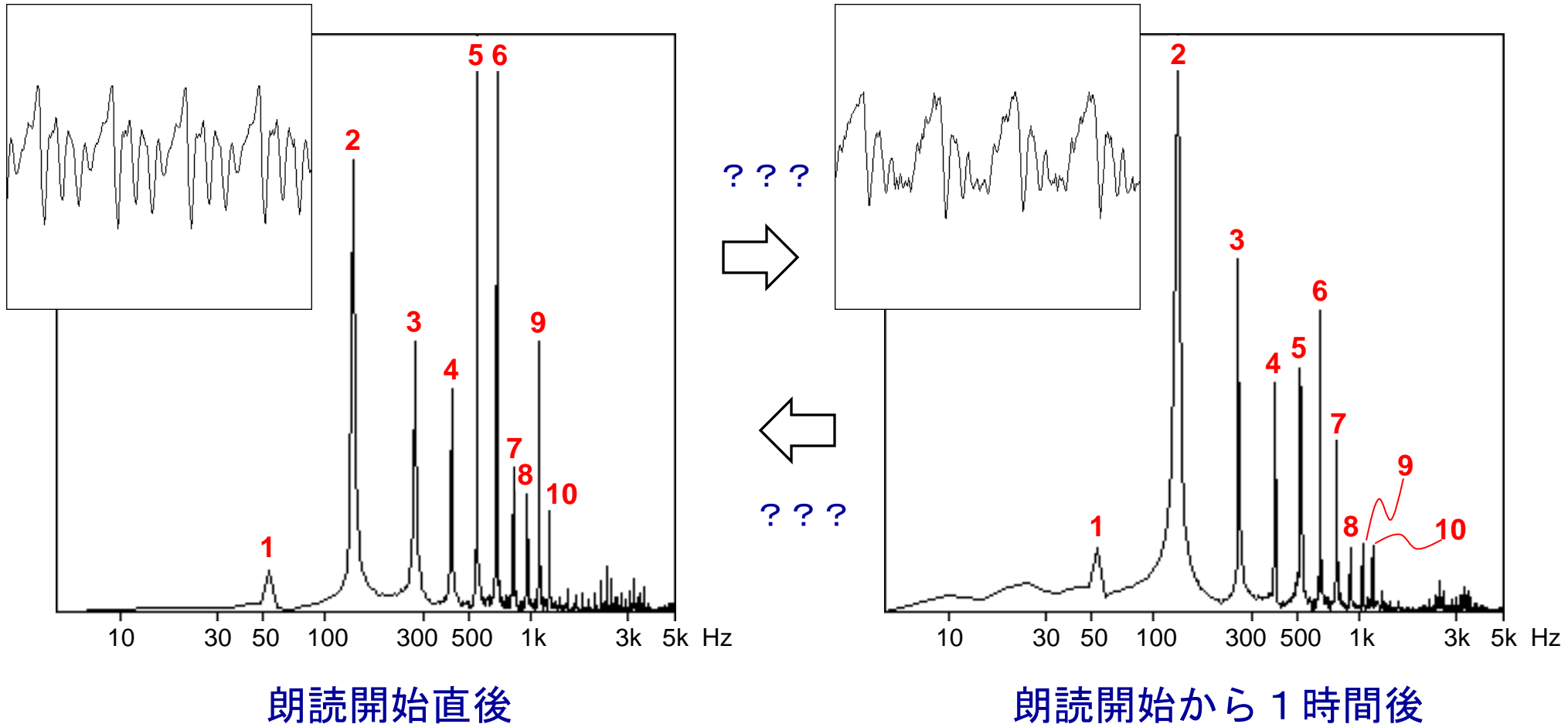
➡  
FFT



「あ」音のパワー・スペクトラム

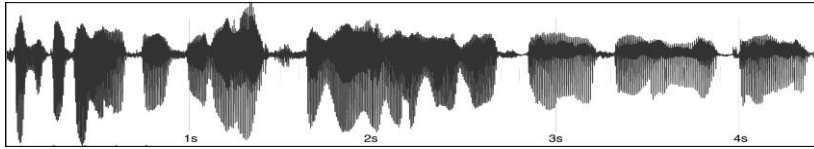
# 発話音声のパワー・スペクトラム

- 1) スペクトラムのピーク位置（声紋）は個人に依存し、経時的には変化しない。



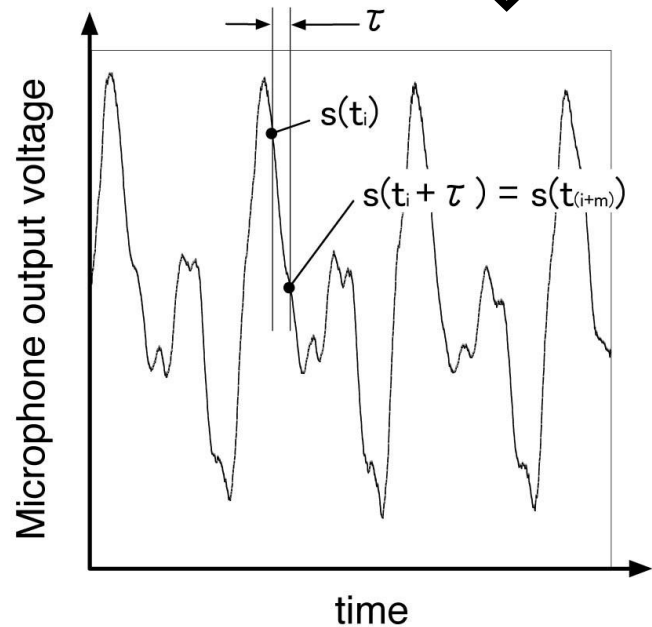


# 発話音声のカオス性の分析



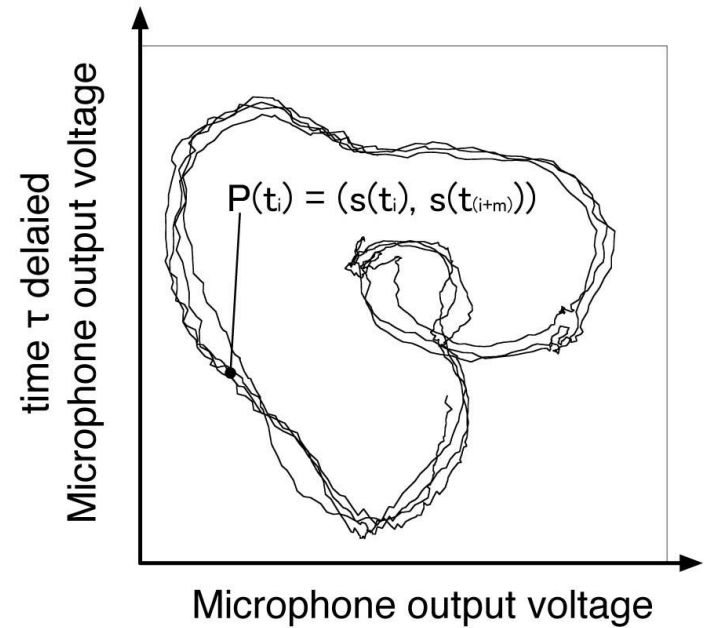
音声信号波形

切り出し



人間の声の波形

ターケンス  
の埋め込み

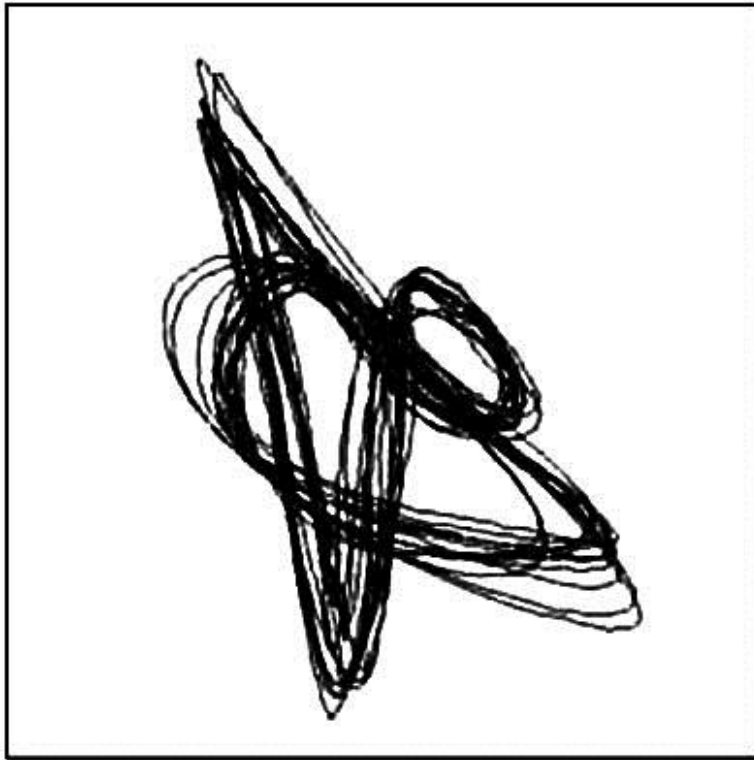


人間の声のストレンジ・アトラクタ

※) ストレンジ・アトラクタはホメオスタシスの数学的な視覚化と理解できる。

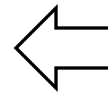
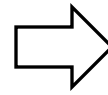
# 発話音声から生成されるストレンジ・アトラクタ

1) 1998年、発話音声の“ゆらぎ”の状態が、発話者の心身状態によって変化することを発見した。

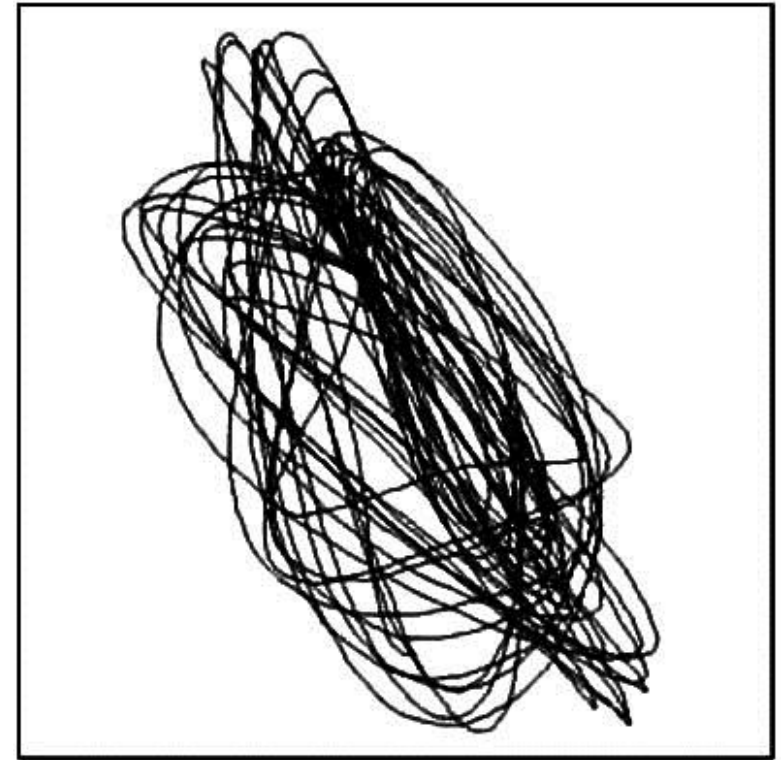


脳の活性度が低い状態

元気になる  
or 緊張する

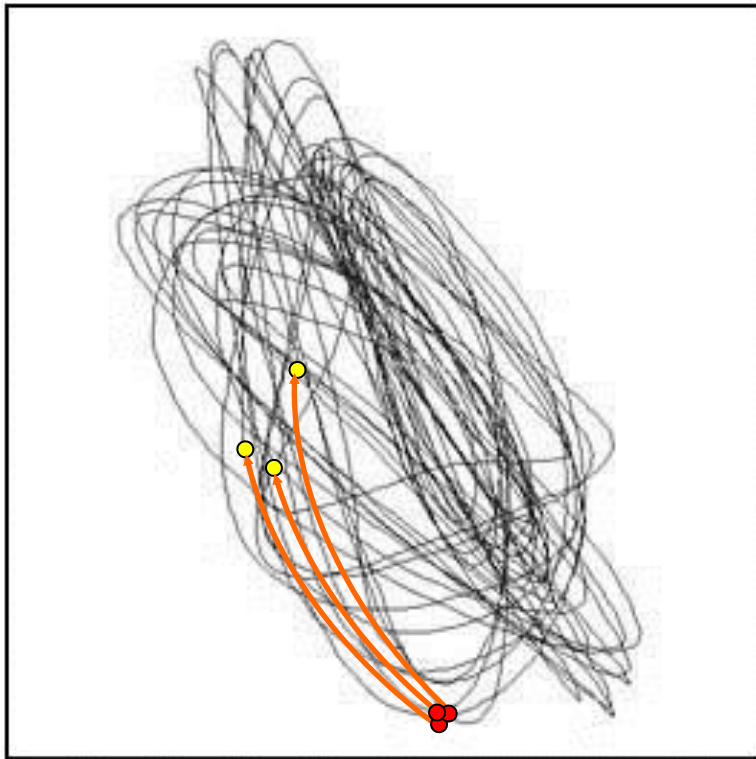


リラックス  
or ぼんやり

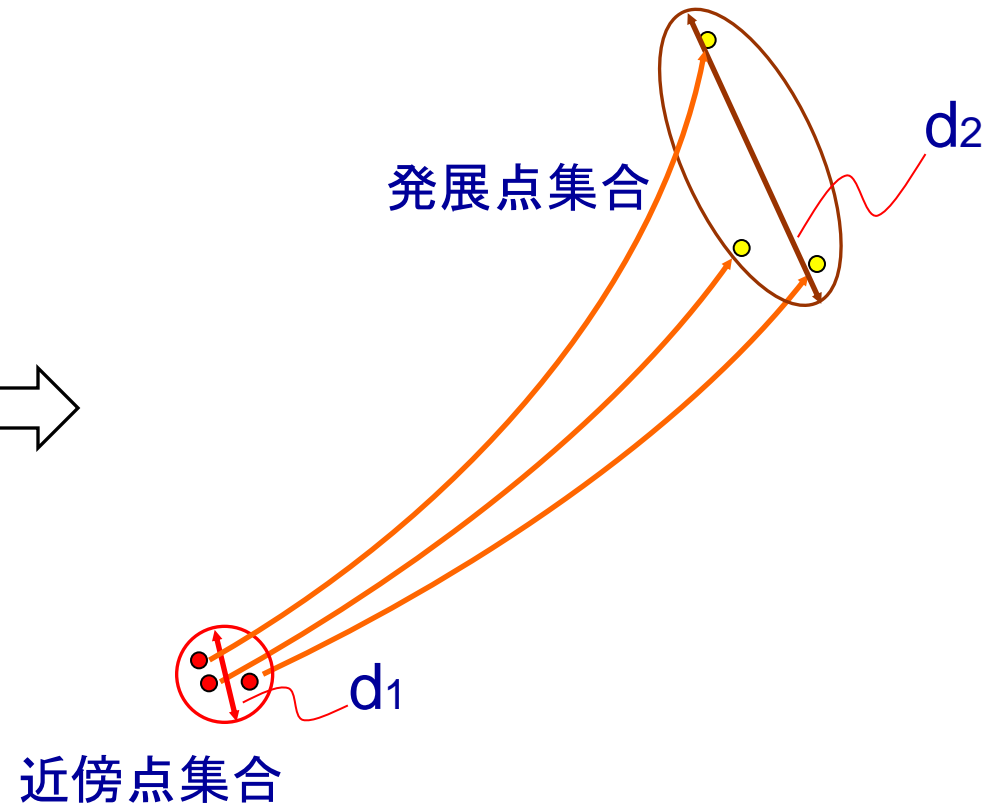
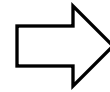


脳の活性度が高い状態

# ストレンジ・アトラクタにおける“ゆらぎ”の定量化



時間局所的な第1リアプノフ指数

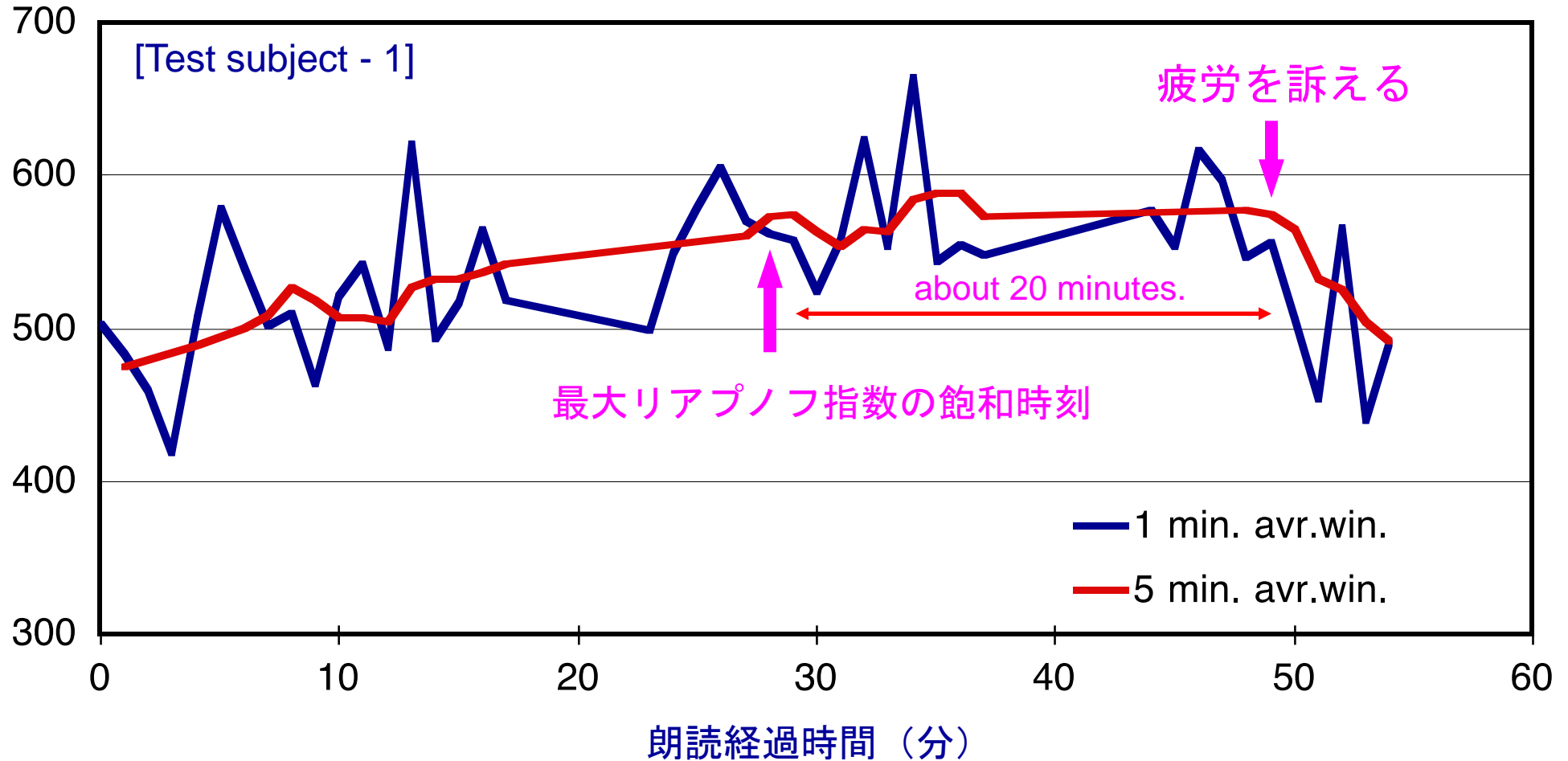


近傍点集合

$$\lambda = \overline{\lim} \log \left( \frac{d_2}{d_1} \right)$$

## 契機： 発話音声収録実験（～1999年）

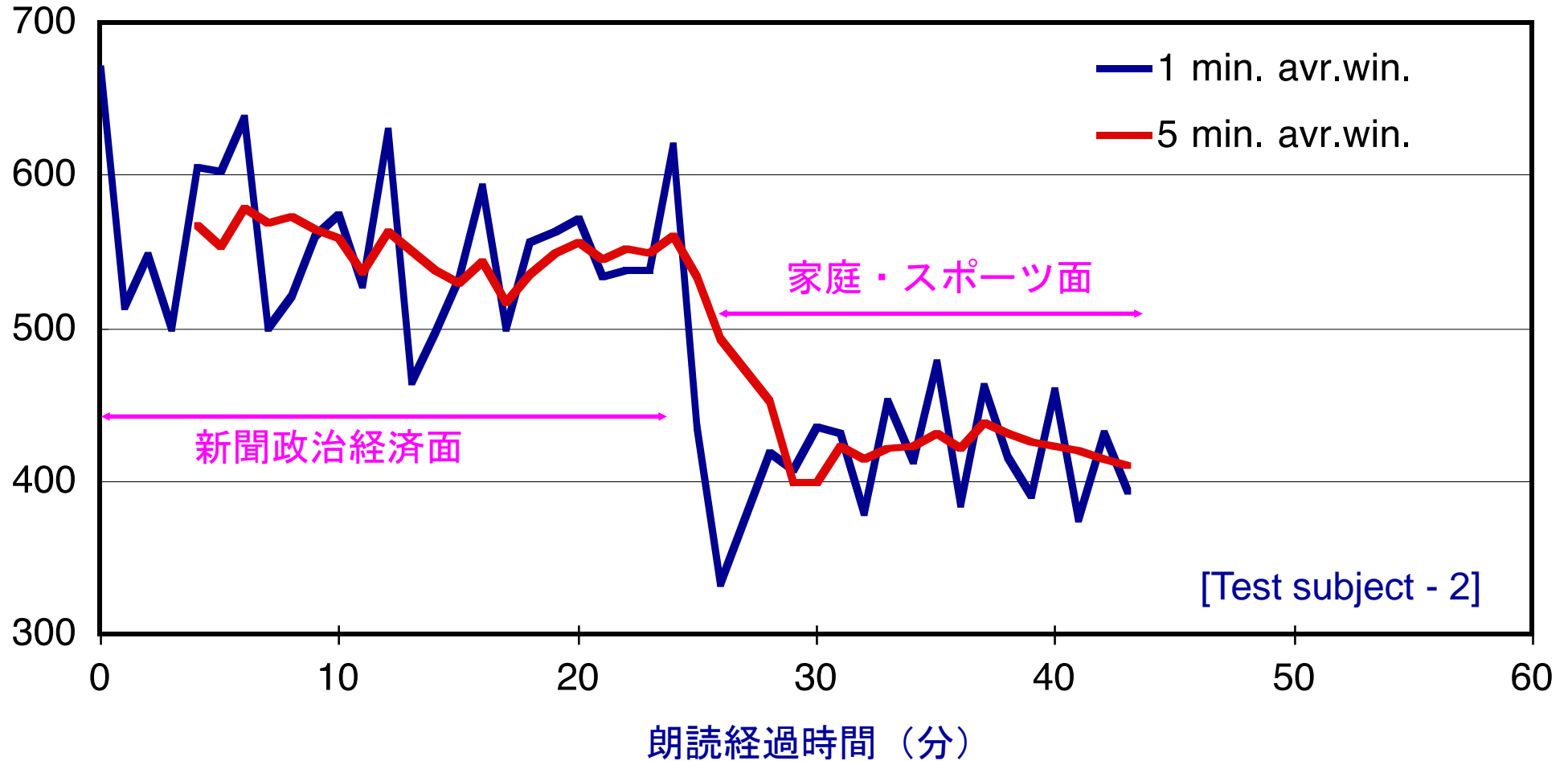
### 最大リアプノフ指数の時間的移動平均値



※ 被験者が疲労を訴える約 20 分前に指数値の上昇は飽和している。

## 契機： 発話音声収録実験（～1999年）

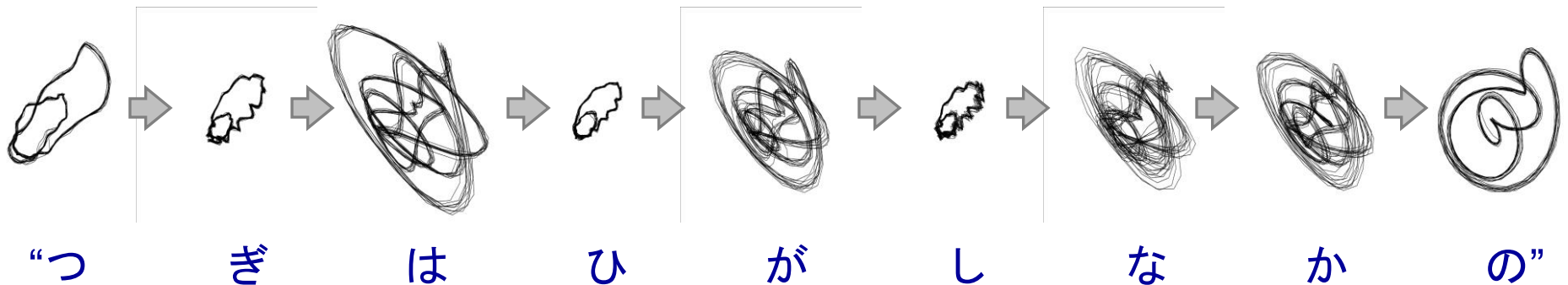
### 最大リアプノフ指数の時間的移動平均値



※ 朗読内容の変化により指数値が大幅に変化したこともある。

## 発話音声の“ゆらぎ”の定量化

- 1) 時系列信号の有する“ゆらぎ”の程度は、その時系列信号からストレンジ・アトラクタを生成し、第1リアプノフ指数を算出して定量化することができる。
- 2) 発話音声における問題は、複数の母音異なるダイナミクスを有するため、「一般的な発話音声からは、カオス理論が想定する様な安定なストレンジ・アトラクタを生成することができない。」ということにある。



## SiCECA (Shiomi's Cerebral Exponent Calculation Algorithm)

---

- 3) カオス理論では、時系列信号を生成するダイナミクスが不変であることを前提として、時系列信号からその性格を推定するが、一般的な発話音声において各母音を生成するダイナミクスは相互に異なっている。
- 4) 個々の母音の発話継続時間は長くても数百ミリ秒程度と短く、その継続時間に対しては、安定に第1リアプノフ指数を算出することができない。
- 5) 筆者等は時間局所的な第1リアプノフ指数とも考えられる指標値 (CEm/  
CEM: Cerebral Exponent micro / C.E.Macro) を定義し、一般的な発話音声において、その“ゆらぎ”の程度の定量化を行った。

# 中国語の朗読カード

# 英語の朗読カード

《鵝 过 河》  
 哥哥弟弟坡前坐，坡上卧着一只鵝，  
 坡下流着一条河，哥哥说：宽宽的河，  
 弟弟说：白白  
 鵝要过河，河  
 不知是鵝过河，还

《春夜喜雨》  
 —— 杜甫  
 好雨知时节，当春乃发生。  
 随风潜入夜，润物细无声。  
 野径云俱黑，江船火独明。  
 晓看红湿处，花重锦官城。

*Reading Card from H. C. Andersen Fairy Tales - 47*  
 The fourth sister was more timid; she remained in the was quite as be

ABCOE: ABE Industry, Co

*History of Vacuum Tubes / Electron Valves - 18*  
 In 1907, Lee DeForest interposed an electrode bet of the "Flemin

ABCOE: ABE Industry, Co

"Bushido" Reading Card - 33  
 Another bushi speaks of Rectitude in the following terms: "With Rectitude the lack of accomplishments is as nothing."  
 Arrangement from "Bushido", by Inazo Nitobe



ヒンズーの亀は かめ

この世で よ

一番大きな亀で いちばんおおいかめ

天地を支える てんち ささ

象の柱を ぞう はしら

背中の甲羅に せなか こうら

聳え立たせる そび た

宇宙の台座です うちゅう だいざ

日本の亀は にほん かめ

兎と競走しても うさぎ けいそう

勝つくらいの か

頑張り屋さんですが がんばり や

ギリシャの亀は かめ

英雄アキレスにも えいゆう

負けない程の ま ほど

知恵者でした ちえもの

Reading(Card from Volvo Way) (35)

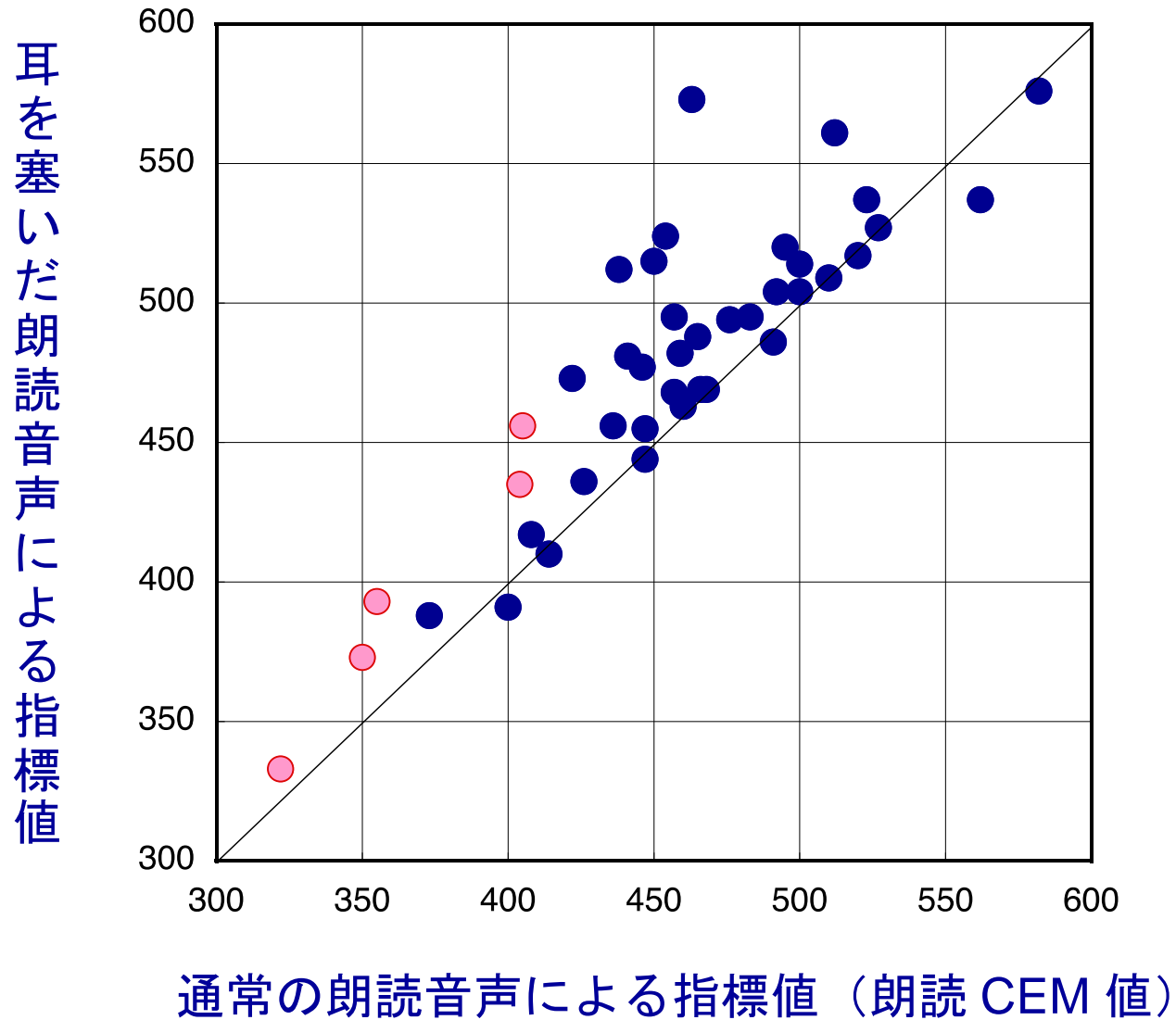
Säkerhet(är(en(integrerad(del(av(vår(

produktutveckling.(  
Syftet(är(att(förbättra(såväl(trafik(säkerhet(som(  
arbetsmiljö(för(förare(och(operatörer(av(fordon(  
och(maskiner.(

ABCDE((ABE(Industry,Cerebral Dynamics(Corporation(and(Electronic(Navigation(Research(Institute(

Volvo Trucks 社のために作成したスウェーデン語の朗読カード

## ストレス評価実験の結果



カオス計算の得意なスパコンを導入して信号処理アルゴリズムの最適化を目指した。



## CRAY-MTA2 System (2002)

10,000kg-100kVA → 3kg-100W

2002年から2010年間での間に、信号処理アルゴリズムとしての処理性能は6桁程度改善されたと思われる。

## CENTE Ver.8 (2010)



私たちが、発話音声の研究開始の契機となった中華航空機事故は 1994 年 4 月 26 日だった、・・・

2005 年 4 月 25 日 午後 9 時 19 分頃、JR 西日本福知山線脱線事故が発生し、107 名が犠牲になり 562 名が重軽傷を負った。

“ヒューマン・エラー” による事故であった。業務管理形態等々が話題になった。残念なことに、「事故は機械により防げた。」との認識から、“ヒューマン・ファクター” に関する理解の発展は限定的なものとなった。

事故そのものは残念なことではあったが、この事故を契機に研究開発予算が増額され、我々は、実験機の試作に漕ぎ着けた。



写真は <http://blogs.yahoo.co.jp/mnfeconicuzn/34039960.html> から引用しました。

# 運転士の声で集中力判断

運転手の声で業務の集中力を確認できる……。鉄道総合技術研究所(東京都国分寺市)などは三十一日までに、人のミスと声の相関関係を探る実験からこんな研究結果をまとめた。兵庫県尼崎市のJR電車脱線事故では運転士の異常な心理状態が事故につながった可能性が指摘されており、運転士の意識状態を調べる新たな事故防止策として注目されそうだ。

この実験は「発話音声を用いた覚醒度評価法」と題し、同研究所の佐藤清主任研究員(人間工学)と独立行政法人電子航法の塩見格一上席研究員(応用物理)らが担当した。



「出発進行」の一声で判断できる

## 鉄道総研、科学的に実験 事故防止策、研究進む

と、注意力、思考力などをつかさどり人間がミスをしないようにするのは、主に大脳新皮質の前頭葉という部分。前頭葉は簡単に同じような作業が続くと短時間で機能低下する性質がある。電車の運転中に前頭葉の機能が低下すれば居眠り事故などを起こす恐れがあるが、これまで運転の邪魔にならず科学的に意識状態を調べる方法はなかった。

今回の実験は、二人の成人男性が二十六時間、簡単な色識別テストを断続的に十五回繰り返す方法で実施。テストの前後に短文を朗読して声を録音し、コンピューターで分析したところ、テストの正答率と声の安定度に強い相関性があった。佐藤研究員らは「テストに取り組み集中力が声の安定度に表れることが実証できた」と判断、「装置を電車やバスなどの運転席に配備すれば、『出発進行』などの声から運転士が集中しているか確認できる」と考えている。

分析装置の小型化、低価格化や処理速度の短縮など実用化までには様々な課題があるが、既に電車運転シミュレーターを使って実験し、有効性を確認したという。今後は実際に運転中の運転手で実証実験を行い、業務の支障にならないようマイクの形状を工夫したり、騒音の影響を排除する方法を研究する考え。

・・・既に電車運転シミュレーターを使って実験し、有効性を確認した。・・・

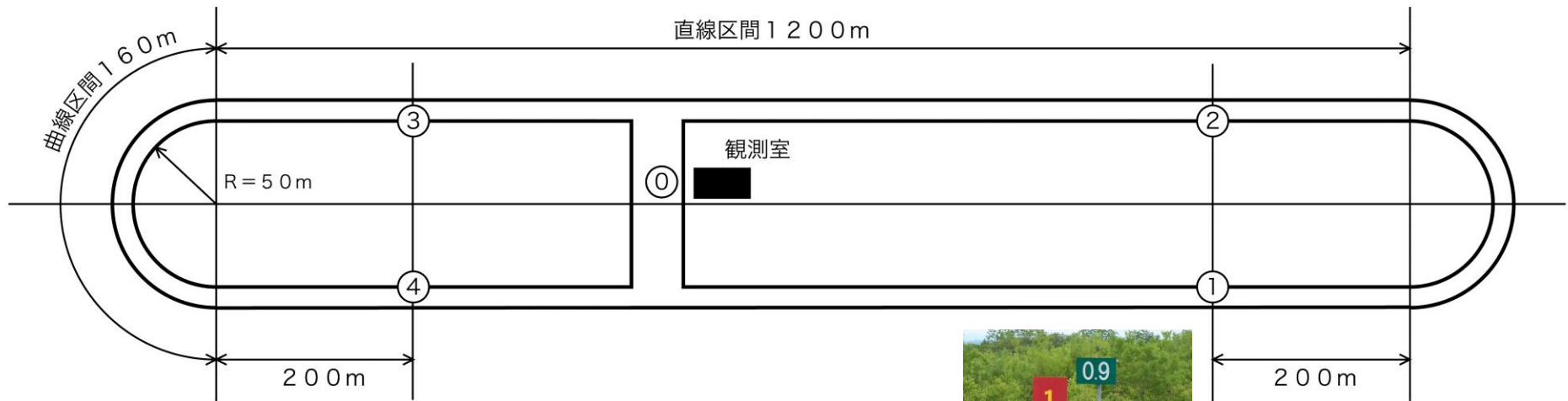
# 疲労状態評価実験の概要



声で“疲労度”が...  
新システム実験中



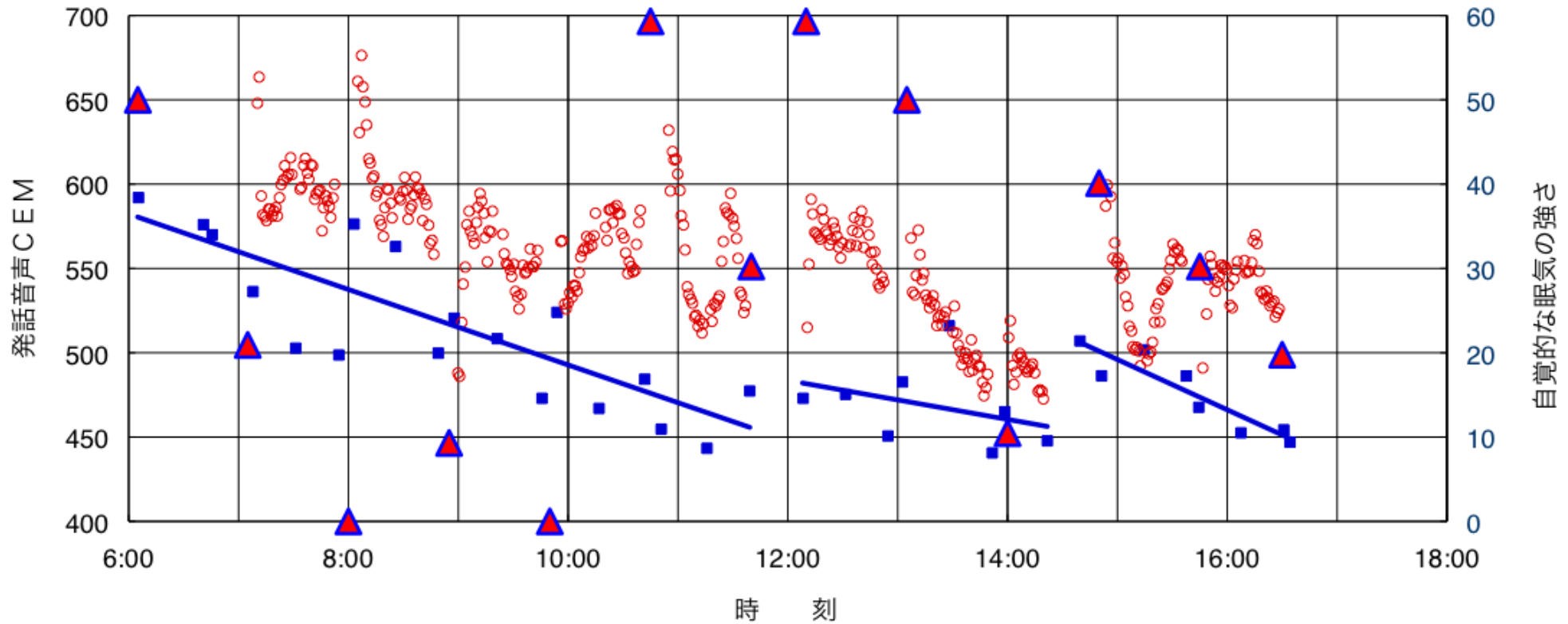
# 実車テストコース



土木研究所 苫小牧寒地試験道路

# 疲労状態評価実験タイムテーブル

■ : 朗読音声\_CEM,    ○ : 換呼音声\_CEM,    ▲ : 眠気の自覚的強さ





# 研究開発の追い風か？

米国運輸安全委員会が「実証的な手法による疲労管理の実施を勧告。」



FOR IMMEDIATE RELEASE: June 10, 2008 SB-08-25

## NTSB RECOMMENDS FAA ADDRESS FATIGUE MANAGEMENT SYSTEMS IN AVIATION

Washington, DC -- The National Transportation Safety Board today made the Federal Aviation Administration (FAA) to address human fatigue. The Board recommended that the FAA develop guidance, based on empirical evidence, for operators to establish fatigue management systems, including content and implementation of these systems.

The Board also made a recommendation to develop and use a methodology to assess the effectiveness of fatigue management systems implemented by pilots. The Board recommended that the FAA develop guidance, based on empirical evidence, for operators to establish fatigue management systems, including content and implementation of these systems.



**National Transportation Safety Board**  
Washington, D.C. 20594

### Safety Recommendation

**Date:** JUN 12 2008

**In reply refer to:** A-08-44 and -45  
A-06-11 (Superseded)

The Honorable Robert A. Sturgell  
Acting Administrator  
Federal Aviation Administration  
Washington, D.C. 20591

### Background

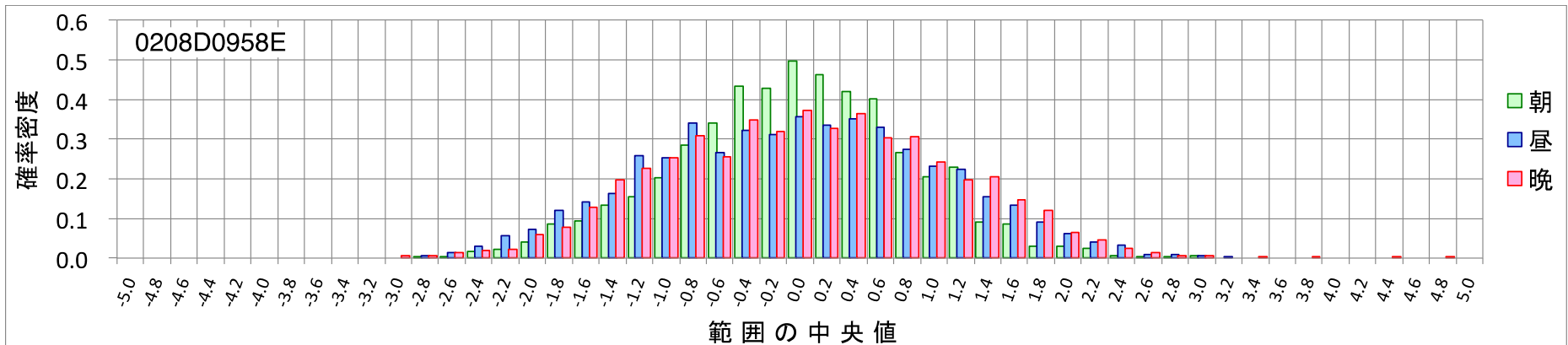
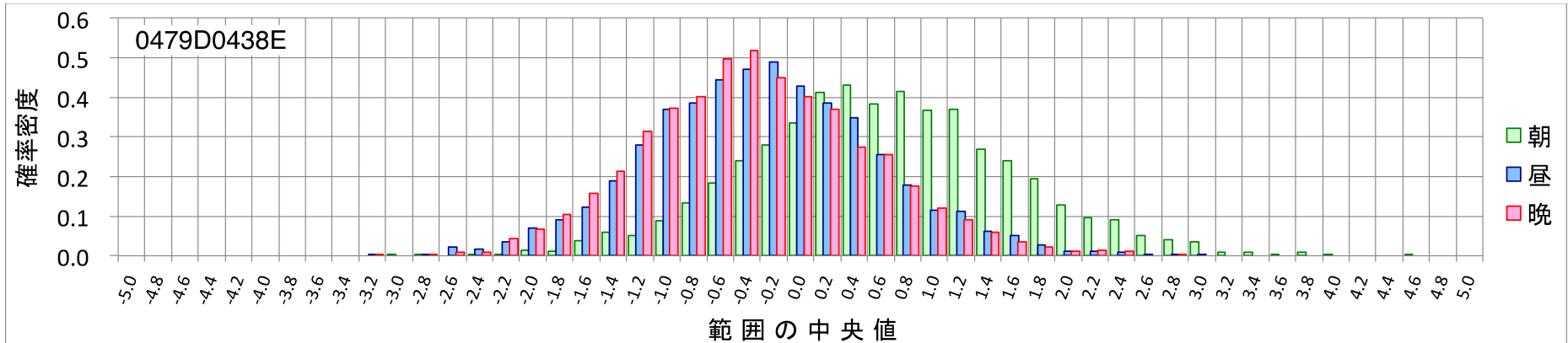
Several aviation accidents and incidents that have occurred in the past few years<sup>1</sup> have highlighted the dangers of human fatigue within airline operations, the need to address factors related to issues of both company policies and crewmember responsibilities, and the continued need for changes to flight and duty time regulations to effectively mitigate the dangers of fatigue.

# 米国航空局安全フォーラムに日本から初めて出展



## 最近の成果

毎週1回, 1日3回(10時, 13時, 18時)ある人が50の文章を音読したデータを処理した結果, 下の様な分布が観測されました。

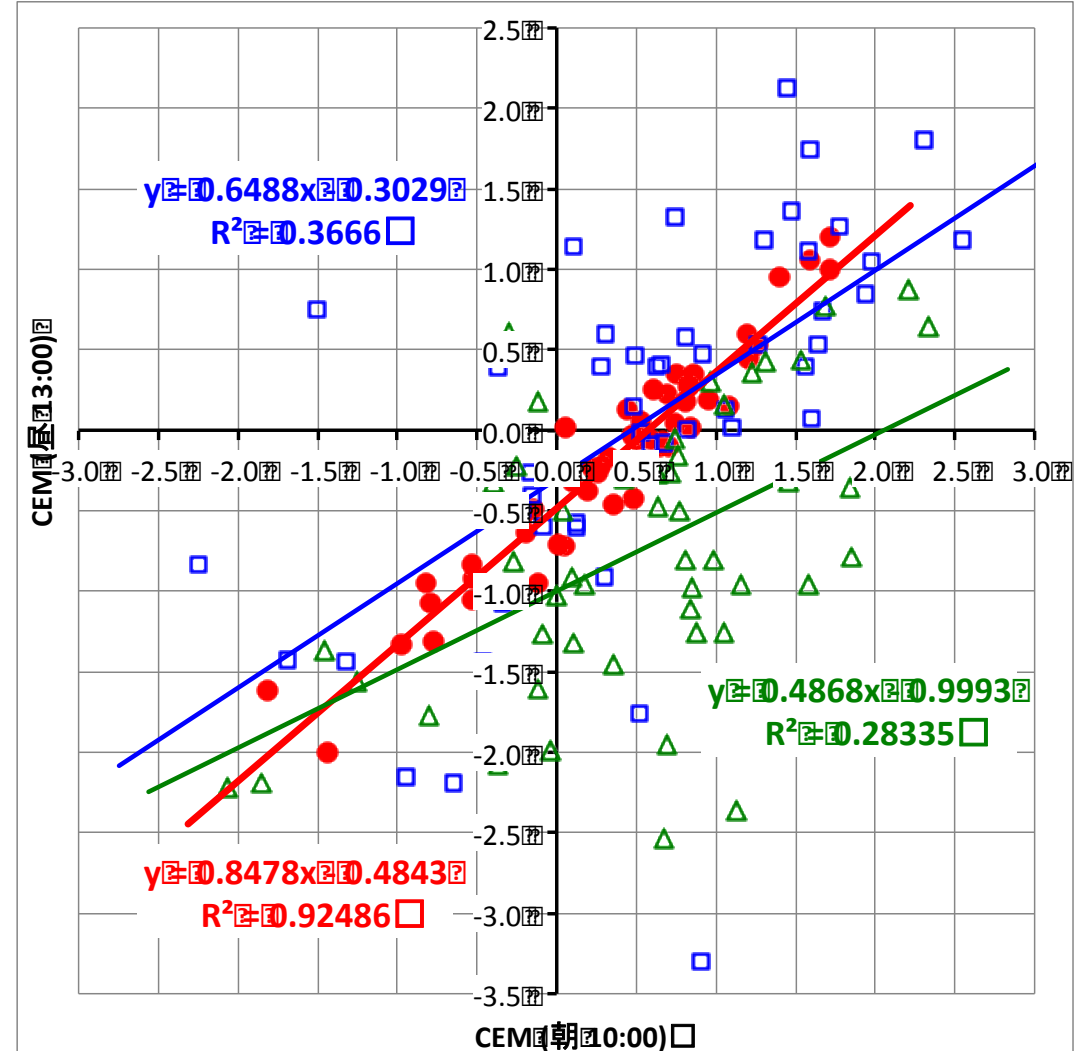


上図と下図は, 朝・昼・晩の音声データを区別して, 夫々のCEM値の平均と標準偏差により, 夫々のCEM値を正規化した分布を重ねたものです。処理パラメーターが適正に設定すれば, 昼食の前後の声を識別する程の感度を実現することができます。

## 最近の成果

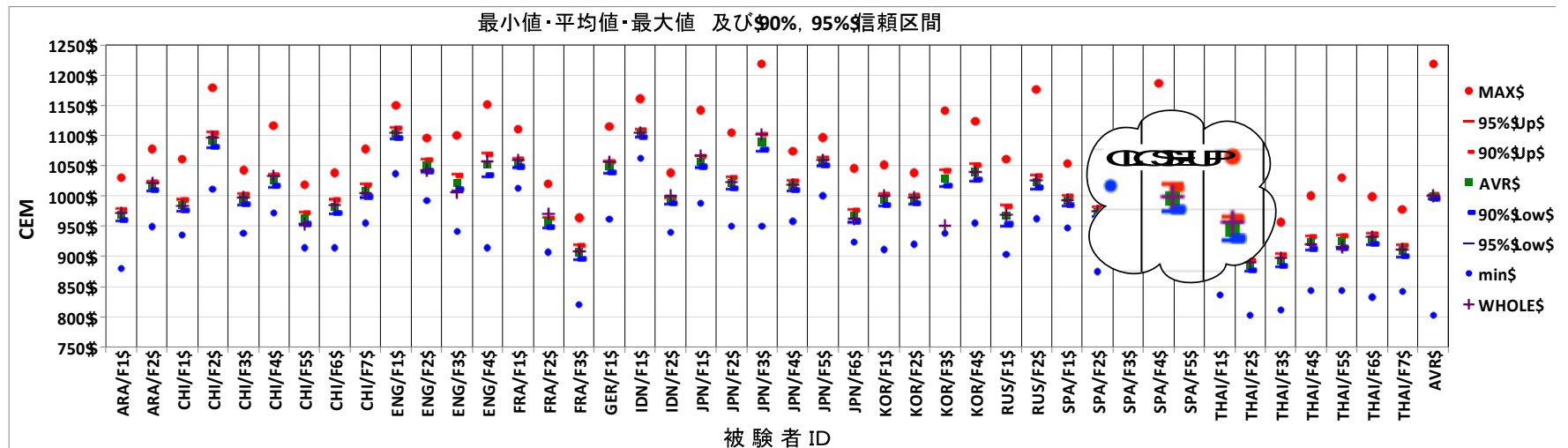
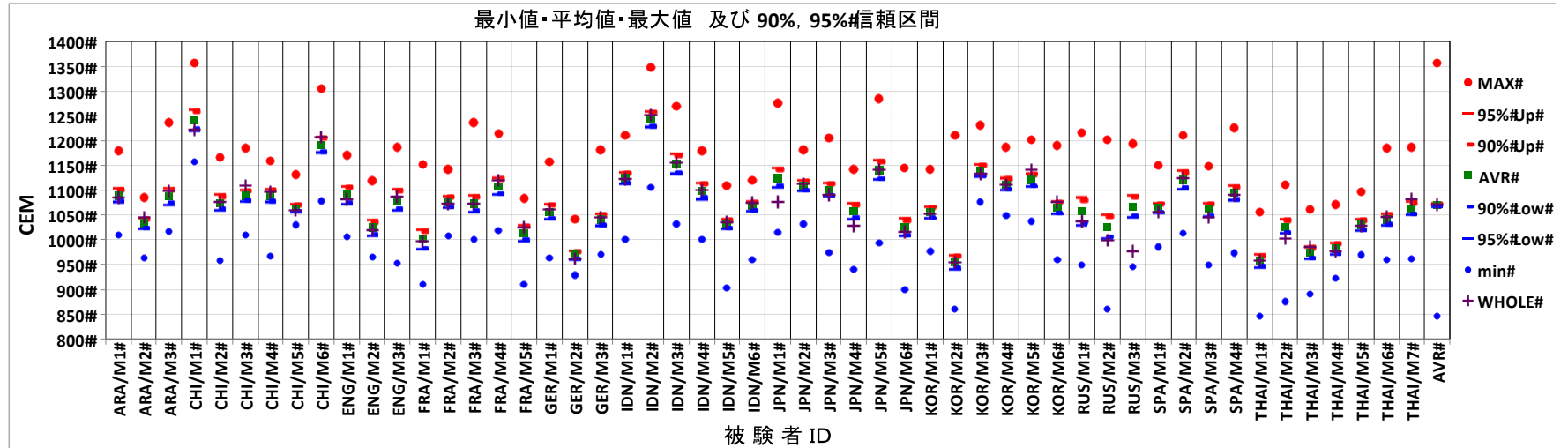
CEM値をテキスト等の朗読音声から算出する場合には、朗読テキストの違いによりCEM値に有意な差異が発生する事が確認されています。

右図は音声資源コンソーシアム提供によるAWA-LTRコーパスの内の50の単文を10時に朗読した場合のCEM値と、13時に朗読した場合のCEM値の対応関係を示したものです。個々のプロットが1つの文章に対応しており、●は52回の朗読による平均値を、□は1回目の朗読によるCEM値、△は2回目の朗読によるCEM値を表しています。平均値の対応( $R^2=0.93$ )では、10時にCEM値が小さい文章であれば13時に読んでもCEM値が小さい傾向が強く現れています。個々の(毎回の)対応では $R^2=0.04 \sim 0.6$ となり、CEM値の大小関係に対応が殆ど見られない場合もあります。



# 最近の成果

下図は11ヶ国後で発話された「北風と太陽の話」の朗読からCEM値を計算した結果です。男女ともに、言語による差異よりも、個人差の方が大きい様です。



## おわりに

---

発話音声に対して、カオス論的な手法により特徴量（CEM値）を定義することが可能であって、

- 1) 「眠気か？ パフォーマンス・レベルか？」サーカディアン・リズムの観測が可能な程の感度を実現することが可能である。
- 2) 業務作業中の発話音声からも、パフォーマンス評価が可能な場合もある。
  - ← 難易度の高い作業中には CEM 値が低下する。
  - 覚醒度の評価には、複数の処理パラメータによる処理結果や、脈拍数等の他の生体信号情報と併せて分析することで対応が可能です。
- 3) モノは試しに音声を評価したい方々を歓迎致します。
  - [shiomi@enri.go.jp](mailto:shiomi@enri.go.jp) にご連絡下さい。
  - スマートフォンで試したい方は、<http://www.noutako.com> へ！

## おわりに（スマートフォンで試す場合の注意事項）

- 1) スマートフォンで収録された音声から算出されるCEM値は，“Hi-Fi”と形容されるマイクロフォンで収録した音声から算出されるCEM値とは異なる分布を示す。
- 2) 異なるスマートフォンで収録した音声から算出した夫々の CEM 値は，そのままでは比較できない。

（株）国際テクノロジー・センターにより実施された評価実験結果より。

