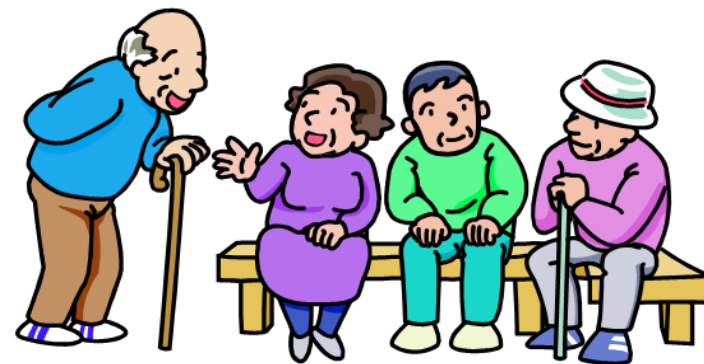


第26回建材情報交流会（平成21年1月21日）  
“室内音環境”聞こえのメカニズムと対応建材

## 「年齢による聞こえ方の変化と 住空間の音環境設計」

建材情報交流会－建築材料から“環境”を考える－

（独）産業技術総合研究所  
人間福祉医工学研究部門  
アクセシブルデザイン研究グループ  
佐藤 洋



# 世の中を静かにする！

物理的に静かな製品や環境をつくる

物理的静けさ

高齢者・障害者対応

音の機能に着目し、機能を発揮させるための環境を整える

情報伝達環境の最適化

聴覚情報環境の構築

ヒトにとっての「静けさ」とは何か追求する

認知的静けさ

# 標準化：世の中を静かにするための重要なツール

## 評価方法の標準化

ISO/TC 43, IEC/TC 100

ISO/TC 159 /WG 2

静かな環境を実現するための評価方法

設計目標が明示できる評価方法

## アクセシブルデザイン 推進のための標準化

ISO/TC 159

/WG 2

/SC 5/WG 4

/SC 5/WG 5

高齢者・障害者に対して大きな音で伝える

高齢者・障害者の聴覚情報利用特性  
を考慮した聴覚情報の最適化

少ない音量で確実に伝わる聴覚情報

## 住宅の音環境設計で留意すべき事

新しい住宅は  
良くなった  
か？

1. 外部からの音に悩まされないこと(外壁遮音) ○
2. 室内の発生音に悩まされないこと(室内騒音) ×
3. 居室間での音響的なプライバシーを保つこと  
(響き, 音の伝搬) ×
4. 会話ができること(響き) △
5. テレビやラジオの音が明瞭に聞こえること(響き) ×
6. 睡眠への影響が少ないこと(騒音, 音の伝搬) △

## 本日の話題

建築音響でできること

アクセシブルデザインと標準化

社会の高齢化・高齢者の基本的な特性

高齢者の聞こえ

高齢者と言葉の聴き取り

視覚障害者向け音案内

# 建築音響でできること

## 建築音響

対象としている空間：建築空間，都市空間など生活空間

対象としている人々：様々

目的：生活空間の一要素である音環境の向上のため  
同質の音環境を**低リソースで合理的に実現**するため

現状：リソースを使えば閉空間ならば任意の音環境を実現できる  
(ただし生活空間としての合理性は無視)

→ 使用者が要求している空間の目的を実現するための  
音環境の提供を合理的に行うための分野

**目的実現のためのゴールが不明確という問題がある**

# 建築音響の技術

## 1)空間内の音の伝搬

- ・響きのコントロール
- ・吸音
- ・音の拡散処理
- ・音場のアクティブ制御

+空間の音響特性に対する  
心理的評価技術や音場可  
聴化および可視化技術

## 2)同一空間内および異なる空間の間の音の遮蔽

- ・空気伝搬音・固体伝搬音の遮音
- ・吸音
- ・騒音のアクティブ制御

## 3)振動の遮断



# 空間および空間要素の持つべき性能

## 1) 必要な音情報の伝送

- ・安全や危険といった状態を示す音情報を適切に伝送していること.
- ・ヒトが行動を行う上で必要な音情報を適切に伝送していること.
- ・音情報取得を目的とするヒトの行動に対して適切な音情報を供給すること(音楽鑑賞, 講演会聴取など)

## 2) 不必要な音情報の遮蔽

- ・あるヒトの行動に不必要なかつ妨げとなる情報を他から伝達されないように制御できること.
- ・あるヒトの発した情報が不特定かつ不必要な他に伝達されないように制御できること.

## 3) 不要な音の制御

- ・ヒトが行動を行う上で妨げになる音が適切に制御されていること.

## 4) 積極的な快適感の提供

## <合理的設計のための大命題>

### 「持つべき性能」の定量化

#### 1. 何を実現するための性能か？

- 実現できれば建築音響に拘る必要はない
- 逆に建築音響で可能な応用先を開拓すると◎。

#### 2. 物理的に何をどの程度コントロールしなければならないか？

- 物理的評価技術
- 実現すべきことと物理量の結びつき

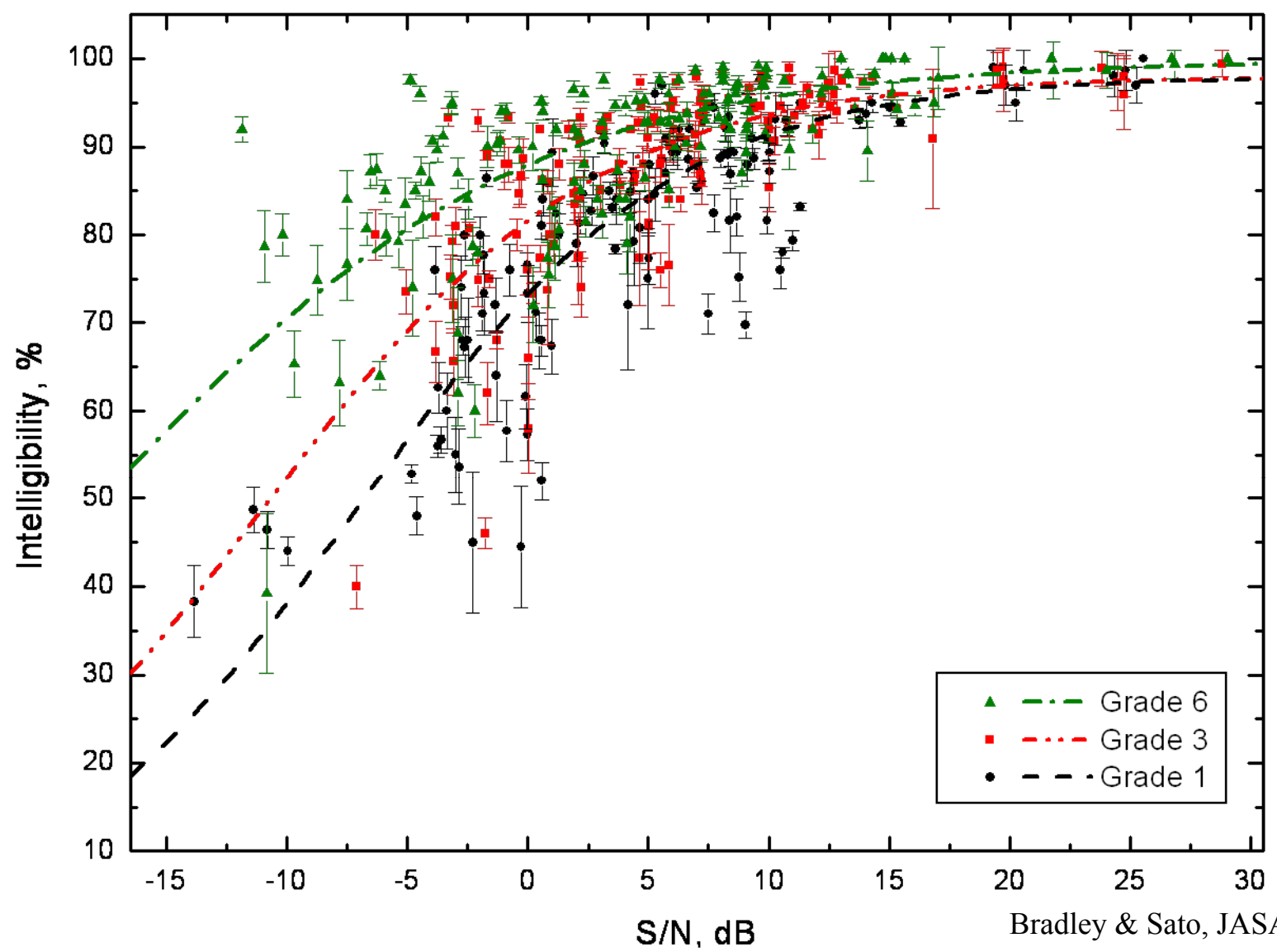
## < 例 : 教室音響 >

### 実現すべき性能:

小学校1年生がきちんと先生の話聞き取れる音環境にする

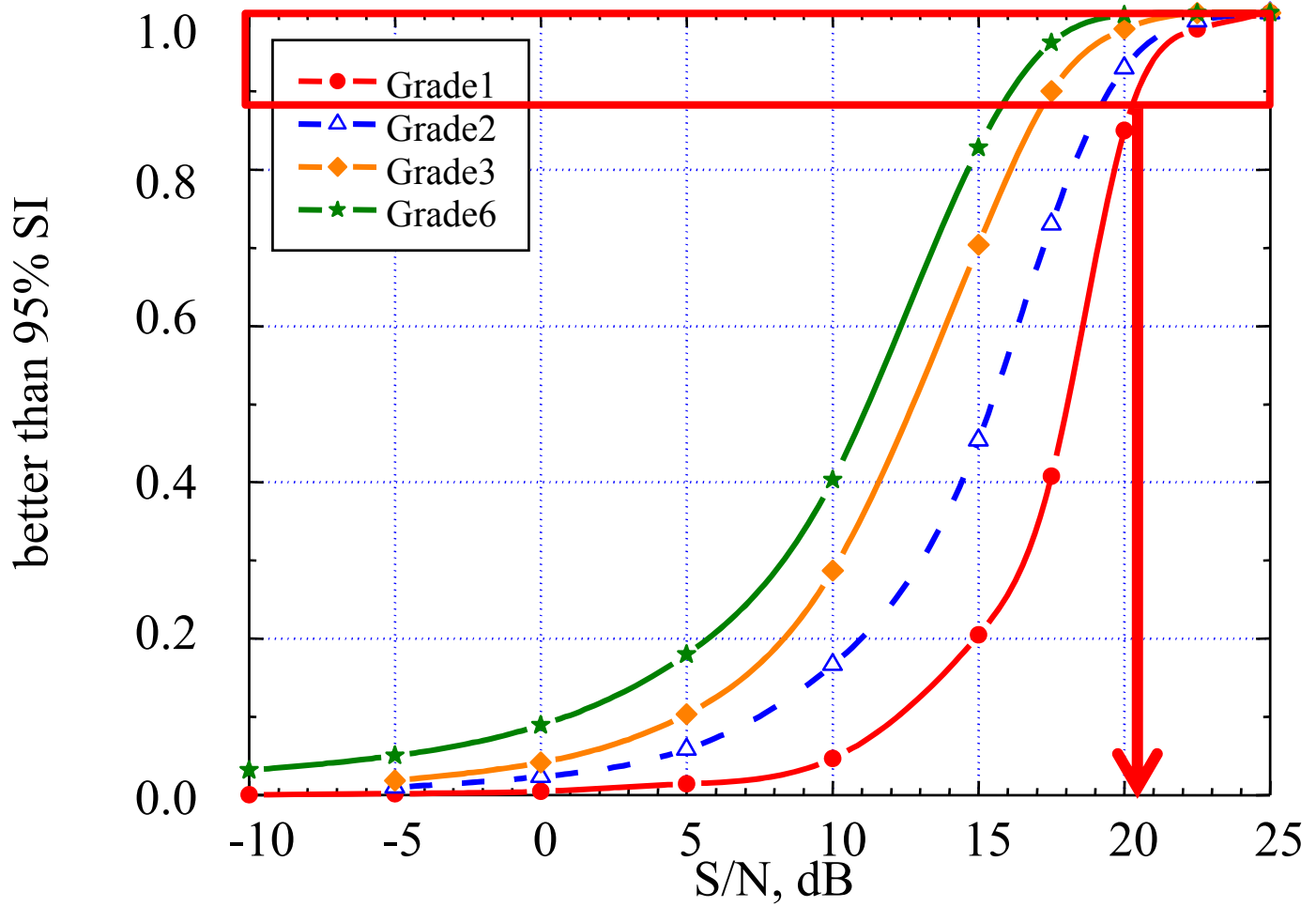
きちんと=95%以上の簡単な単語が  
聞き取れる生徒が90%以上となること

# 小学生の学年ごとのSN比と単語了解度との関係



Bradley & Sato, JASA(2008)

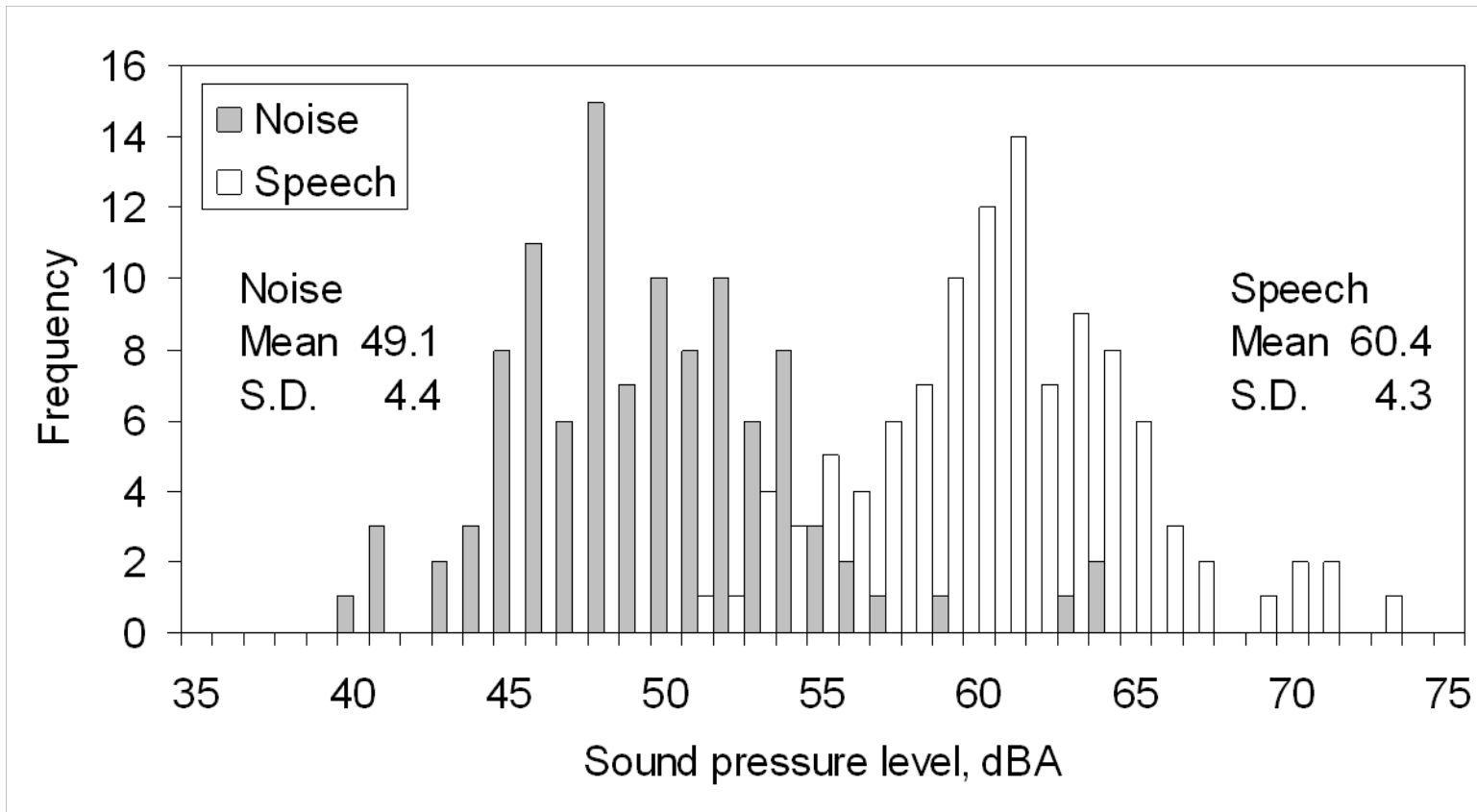
# 95%以上の了解度を得る人数の割合(1, 2, 3, 6年生)



**S/N > 20dB 必要!**

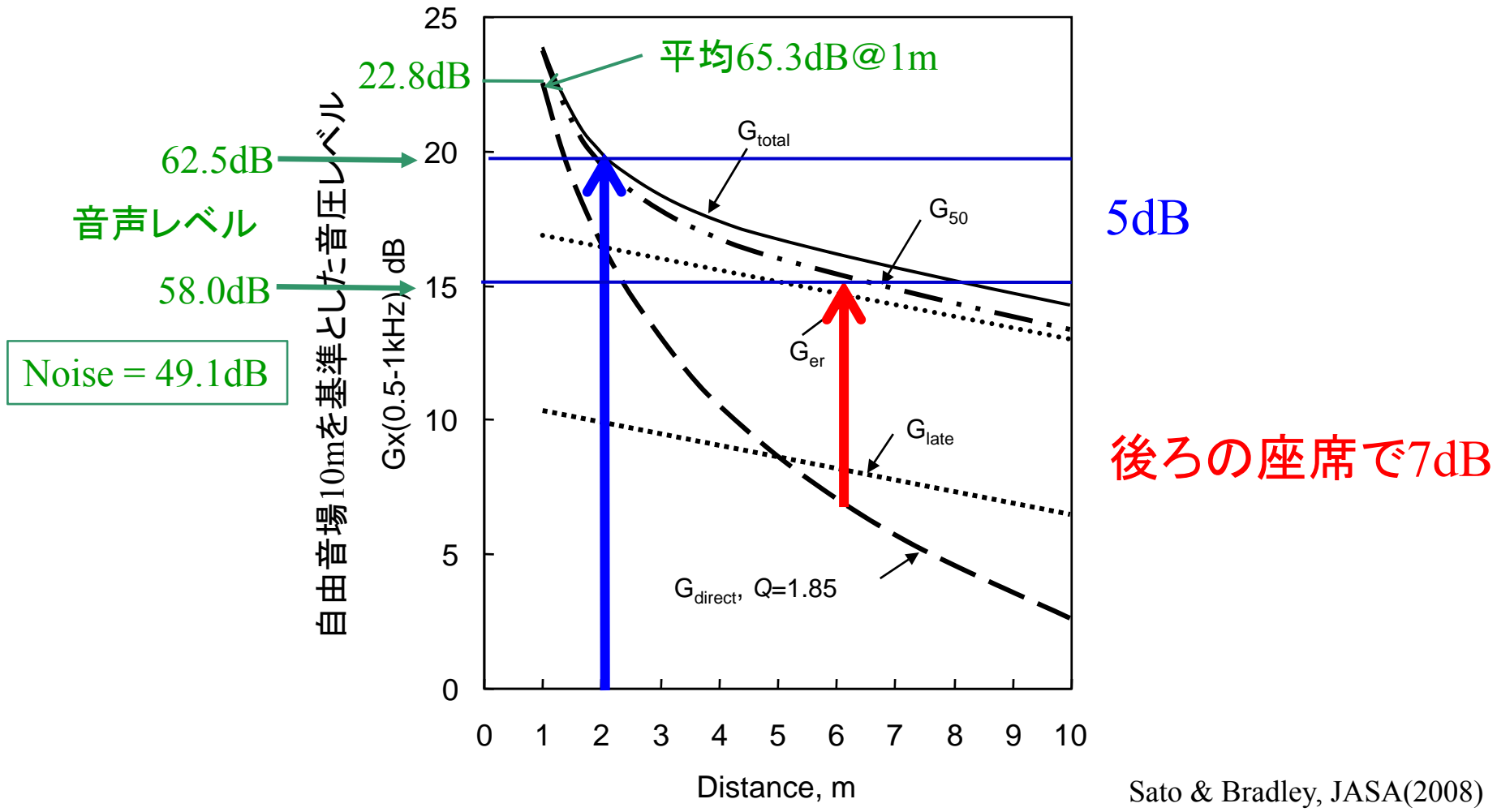
Bradley & Sato, JASA(2008)

## 教室の騒音レベルと音声レベルの頻度分布



S/N>20dBとするには騒音低減(-10dB)か音声増強(+10dB)が必要  
 騒音低減ができなければ室内音響で音声補強

# 教室の反射音はどの程度音声を増強するか？ 音声の音圧分布は教室内でどの程度か？



Sato & Bradley, JASA(2008)

初期反射音レベルをできるだけ上げる設計が望ましい → 設計手法の開発必要

## 室内音響以外の対策

- まずは騒音低減(BGN<35dBを目標)
- 生徒をなるべく先生の近くに集めてから話す
- 先生が生徒のところまで行ってから話す



# アクセシブルデザインと標準化

ISO,JIS等の工業標準はマーケティングツールという側面がある

よりよい製品を提供するため  
技術水準を向上させるため  
製品の差別化

アクセシブルデザインの項目に積極的に技術項目を入れることにより、音環境設計に対するより高度な需要を生み出す可能性がある。

環境設計に際して、高齢者・障害者をどう捉えるか？

一般的なユーザーとの違いは？

どこまでが特別でどこまでが一般的なのか？

「・・・しにくい」のか「・・・できない」のか？



社会の高齢化により、高齢者は一般のユーザーとして存在  
 障害者対応の社会的整備は進行：新バリアフリー法等



**アクセシブルデザインの推進**

# アクセシブルデザイン

## “アクセシブルデザイン”

より多くの 環境や製品が  
より多くの 人々の身体, 感覚, 認知機能等に合わせて  
より多くの 「不便さ」が解消されて

デザインされること.

「・・・にくい」人には ・・・にくくなるように  
「・・・えない」人には ・・・とは別な(代替)手段で

# アクセシブルデザイン

## “アクセシブルデザイン”の実現

1. 修正・改造することなくほとんどの人が利用できる設計

誰もが最初から使える:ユニバーサル

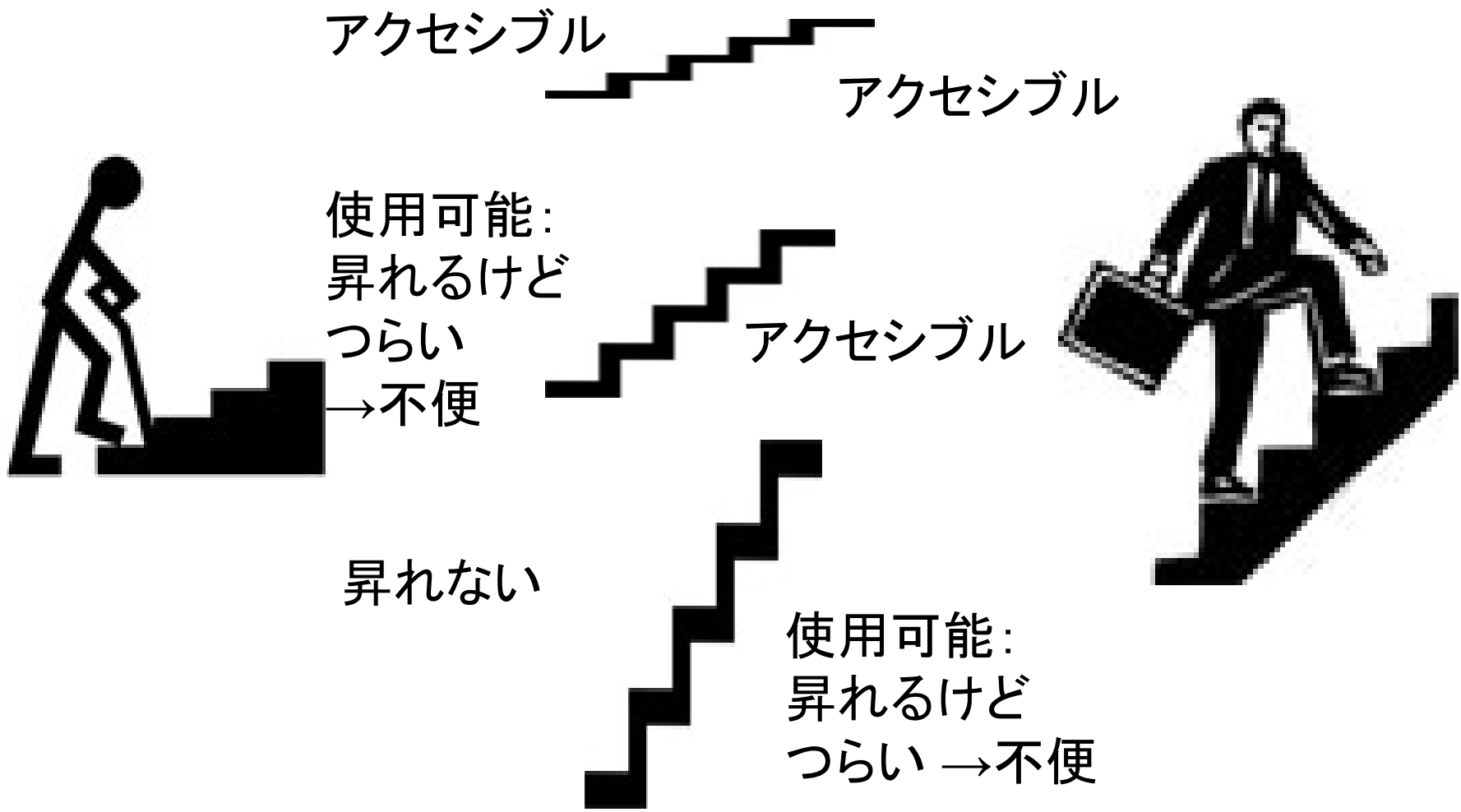
2. 改造できるような設計

必要に応じて変化できる準備

3. 福祉用具等との互換性のある設計

互換性を保つために、機能の拡張や変化を許容

# アクセシビリティ



# アクセシブルデザインと標準化

## ISO/IEC ガイド71

高齢者及び障害のある人々のニーズに対する規格作成配慮指針

## ISO/TR 22411

高齢者・障害者のニーズに配慮するために製品及びサービスへISO/IEC ガイド71 を適用するための人間工学データとガイドライン

## 共通規格

- NP 24500 高齢者・障害者配慮設計指針-消費生活製品の報知音 **JIS S 0013**
- NP 24501 高齢者・障害者配慮設計指針-消費生活製品の報知音-妨害音及び聴覚の加齢変化を考慮した音圧レベル **JIS S 0014**
- NP 24502 高齢者・障害者配慮設計指針-視覚表示物-年代別相対輝度の求め方及び光の評価方法 **JIS S 0031**

# 『ISO/IECガイド71』に示された7つの分野の考慮事項

機能・能力区分	感覚能力	身体能力	認知能力	アレルギー
配慮領域	見る、聞く、触る、嗅ぐなど	移動、握力、話すなど	判断、記憶など	接触、食べ物など
	老眼・難聴、痺れなど	歩行困難、言語障害など	知的障害、自閉症など	
情報	色、文字の大きさ、コントラスト、形状など	位置、レイアウト	絵記号など	
包装	色、文字の大きさ、コントラスト、形状など	扱いやすさ、表面材質など	図記号、絵記号	成分表示、表面材質、素材など
素材(材質)	色、コントラスト、形状、表面材質、音響など	扱いやすさ、表面材質など	色、コントラスト、形状など	成分表示、表面材質、素材など
取付け	照明、扱いやすさ、道理に合った手順など	扱いやすさ、表面材質など	色、形状、道理に合った手順	成分表示、表面材質、素材など
ユーザーインターフェース	色、文字の大きさ、レイアウト、扱いやすさ	位置、レイアウト、扱いやすさなど	図記号、絵記号、わかりやすさ	アレルギー性や毒性のない材質など
保守・保管・廃棄	扱いやすさ、道理に合った手順など	扱いやすさ	図記号、絵記号、道理に合った手順	アレルギー性や毒性のない材質など
構築環境(建物等)	照明、アクセスルート、音量など	位置、レイアウト、表面材質など	図記号、絵記号、わかりやすい言葉	アレルギー性や毒性のない材質など

資料: 経済産業省

## 今なぜ高齢者か？

1. 社会の高齢化の進行により，高齢者を一般ユーザーとして位置づける必要が生じている。
2. 高齢者の環境に対する要求性能は若齢者よりも高い。
3. 高齢者をターゲットに設計を行えば，よりよい音環境を提供できる。
4. 製品，サービスの差別化



# 高齢社会と高齢者の一般的特性

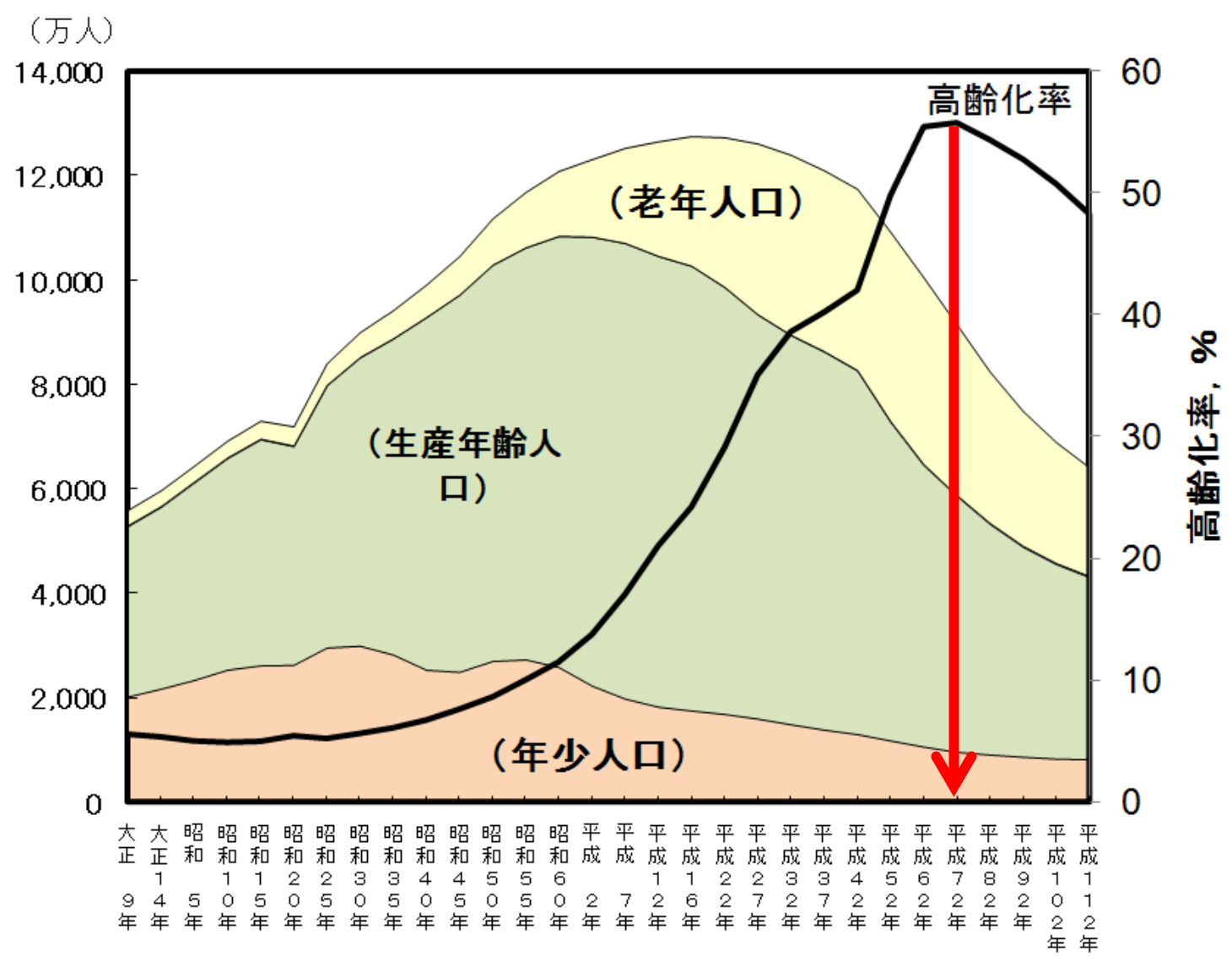
## ◇高齢者

高齢すなわち老年期は、およそ平均的な意味で社会的活動の可能性、定年、さらに行政上の取り扱いなどを考慮し、満65歳以降とされている。その上で、74歳までを老年前期(Young Old)、75歳以降を老年後期(Old Old)と2段階に区別するのが一般的である。

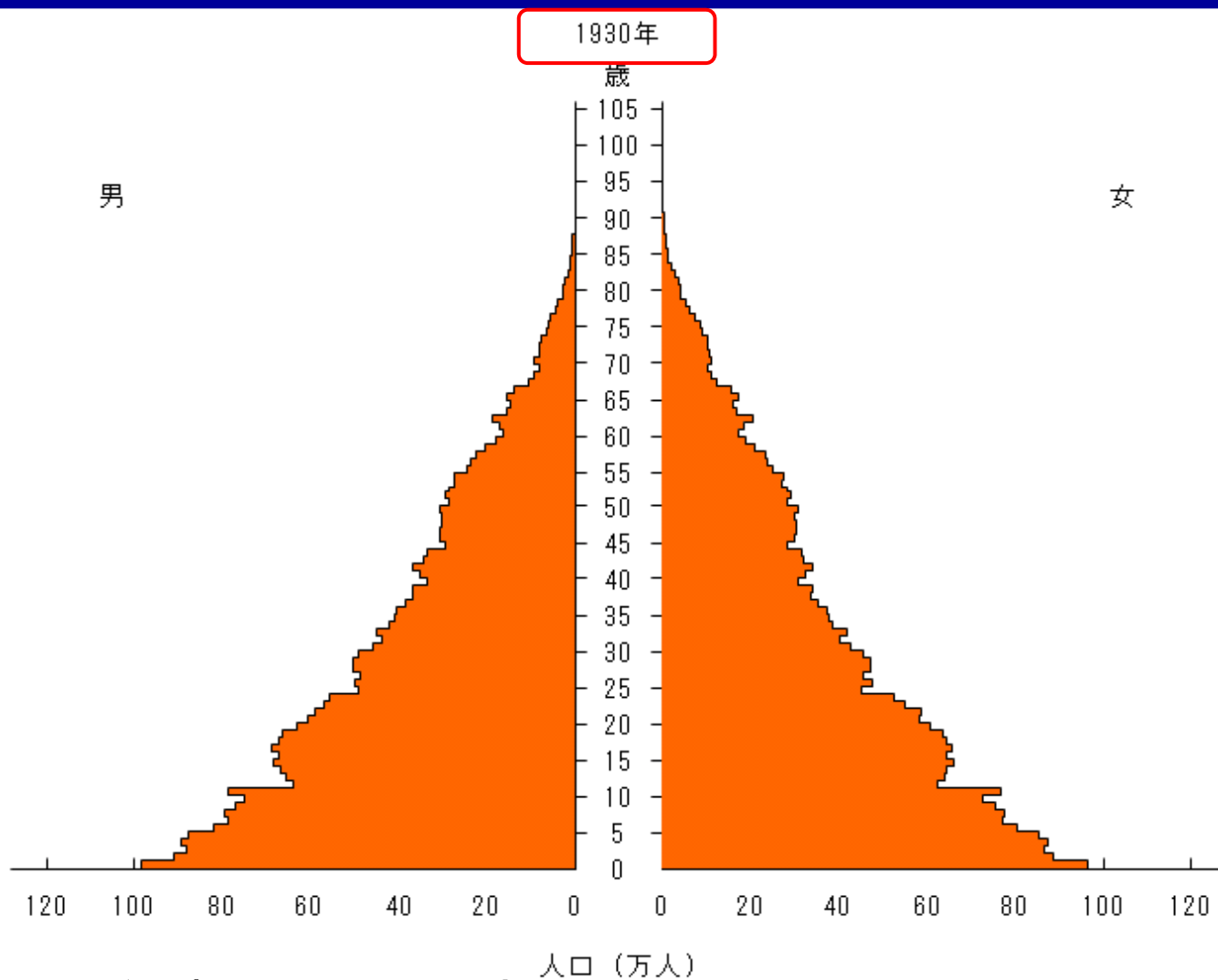
## ◇高齢社会

高齢者の総人口比率が14%を越えた場合に高齢社会と呼ばれる。

# 年齢3区分別人口の推移



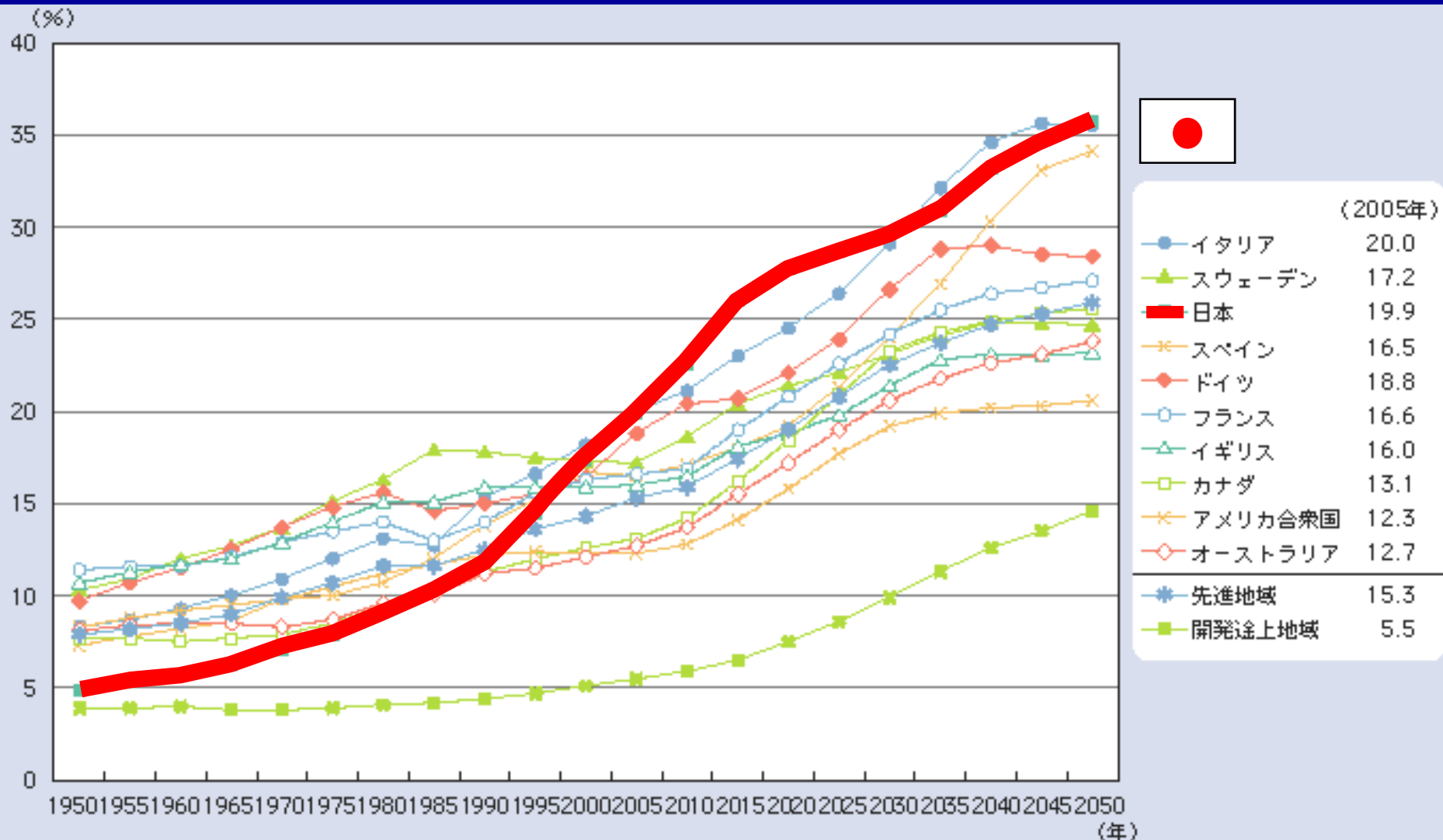
# 日本の人口ピラミッド



国立社会保障・人口問題研究所

<http://www.ipss.go.jp/site-ad/TopPageData/Pyramid-a.gif>

# 高齢社会(平成17年度版 高齢社会白書より)



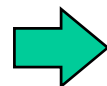
資料：UN, World Population Prospects: The 2004 Revision

ただし日本は、総務省「国勢調査」及び国立社会保障・人口問題研究所「日本の将来推計人口(平成14年1月推計)」による。

(注) 先進地域とは、北部アメリカ、日本、ヨーロッパ、オーストラリア及びニュージーランドをいう。開発途上地域とは、アフリカ、アジア(日本を除く)、中南米、メラネシア、ミクロネシア、ポリネシアからなる地域をいう。

# 高齢者の特性

- 視覚, 聴覚
- 皮膚感覚(温熱感覚, 痛覚)
- 運動感覚と能力
- 環境条件の変化に  
対する反応の早さ
- 順応性, 抵抗力, 回復力



## 機能の老化

- 個人差が大きい
- 個人にあっても  
各機能の衰えの  
程度に差がある



機能的にアンバランスな状態の高齢者が多く存在する

# 高齢者の意識(「聞こえ」に関して)

加齢に基づく衰えを自覚していない  
自覚していても衰えていないように見せようとする



聞き取れていなくても解った振りをして行動に移る

## 高齢者(60～80歳代, 261人)に対するアンケート

聞こえについて半数以上が「問題ない, 不自由ではない」

案内などの放送や少し離れた人の声が聞き取れない

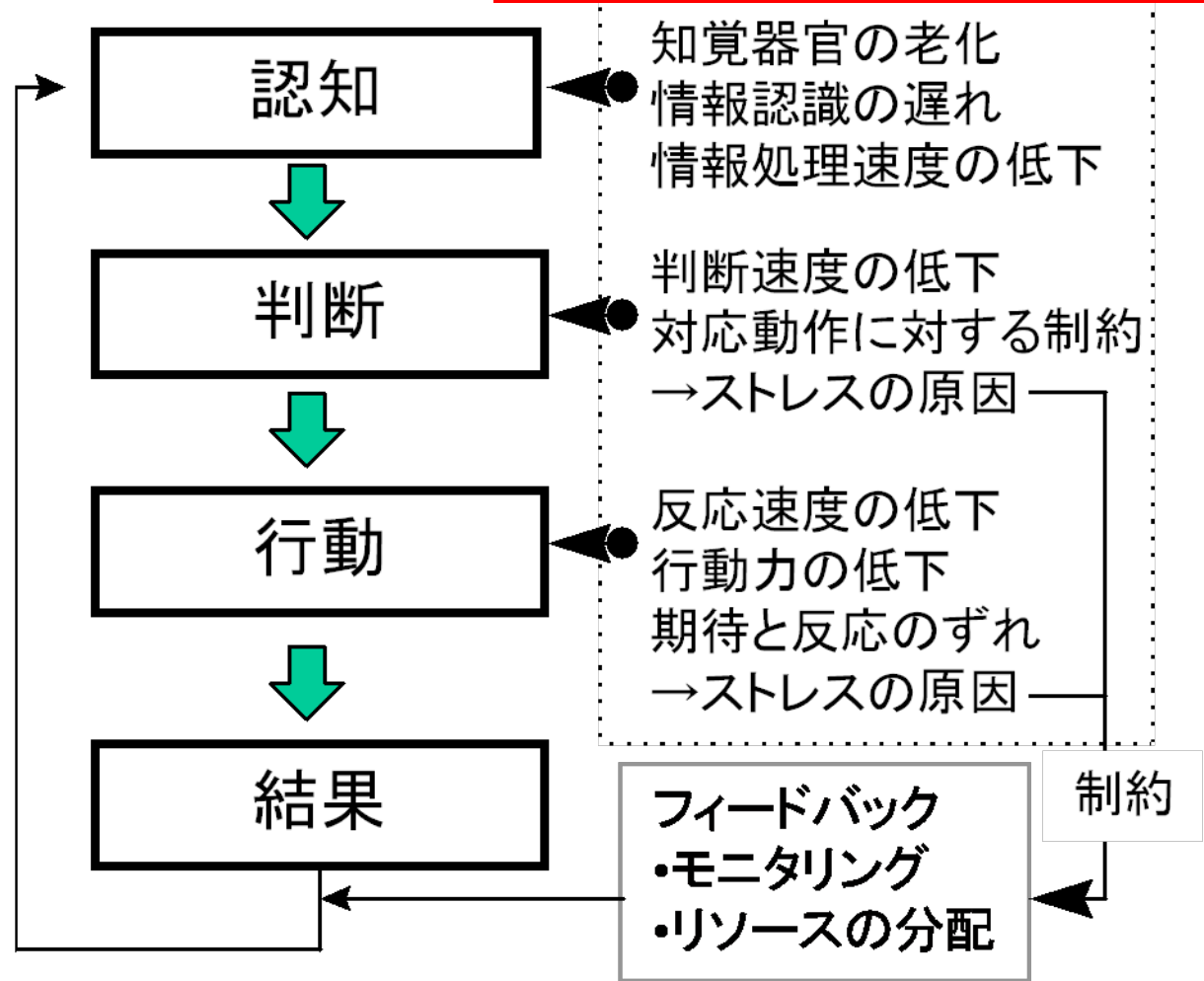
周囲の騒音がうるさい

音(声)が響く(残響感が強い)

音(声)が明瞭でない, 早口である

# 認知から行動までのフローと加齢による衰え

## 加齢による衰えの要素





# 高齢者の聞こえ

# 高齢者の聴覚

## 老年性難聴

特に2 kHz以上の高音域の聴力が低下し、子音の識別に困難を来す。

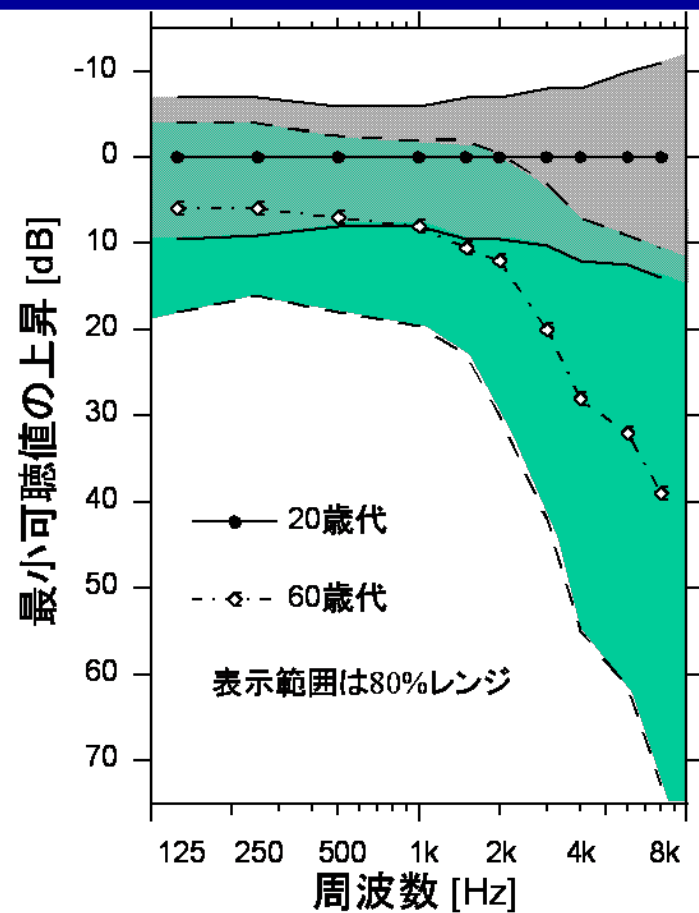
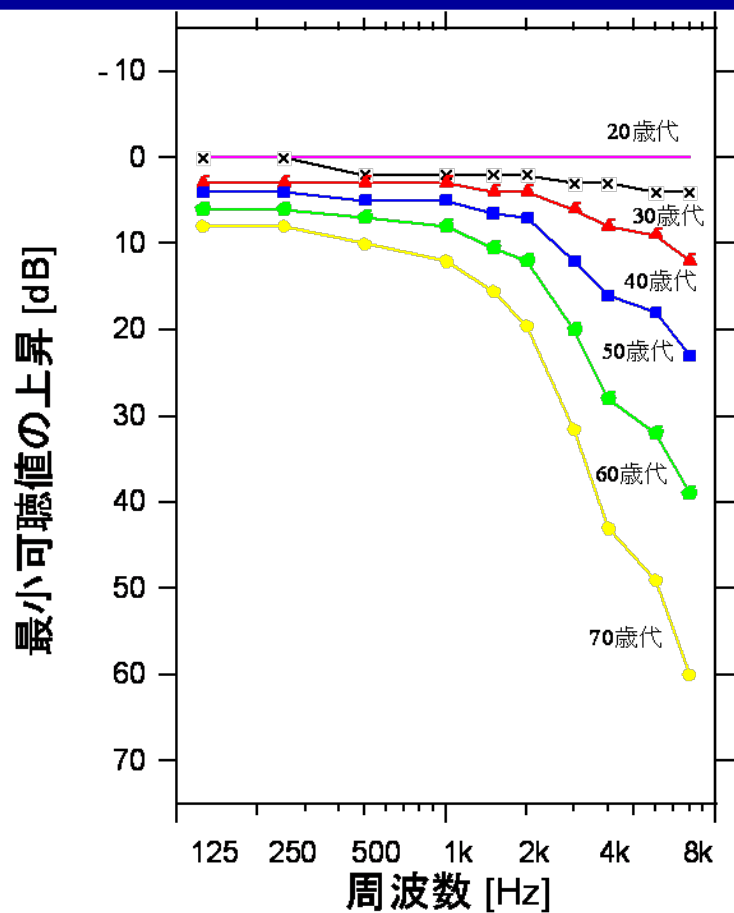
## リクルートメント

小さい音は聞きにくいですが、大きい音は正常耳と同じように聞こえる現象

## 耳鳴り

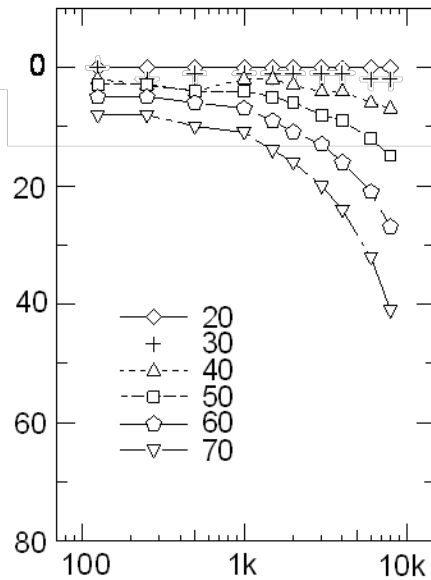
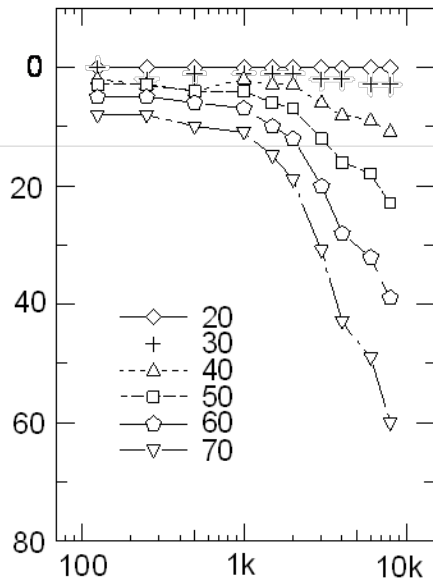
マスキングにより聴取を妨害  
不快感を与える

# 高齢者の聴力

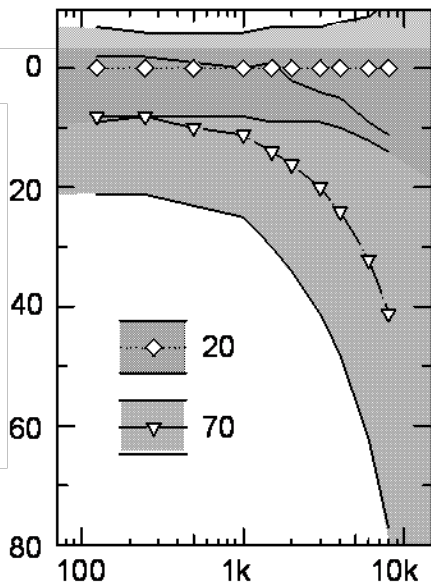
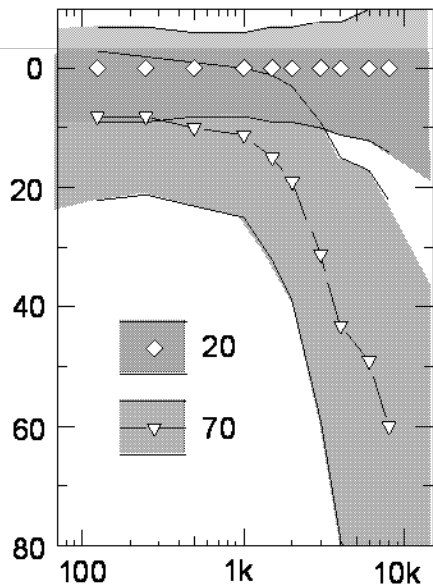


18歳を基準とした最小可聴値の上昇とその分布：男  
(ISO7029のデータを基に作図)

最小可聴閾値の上昇量, dB



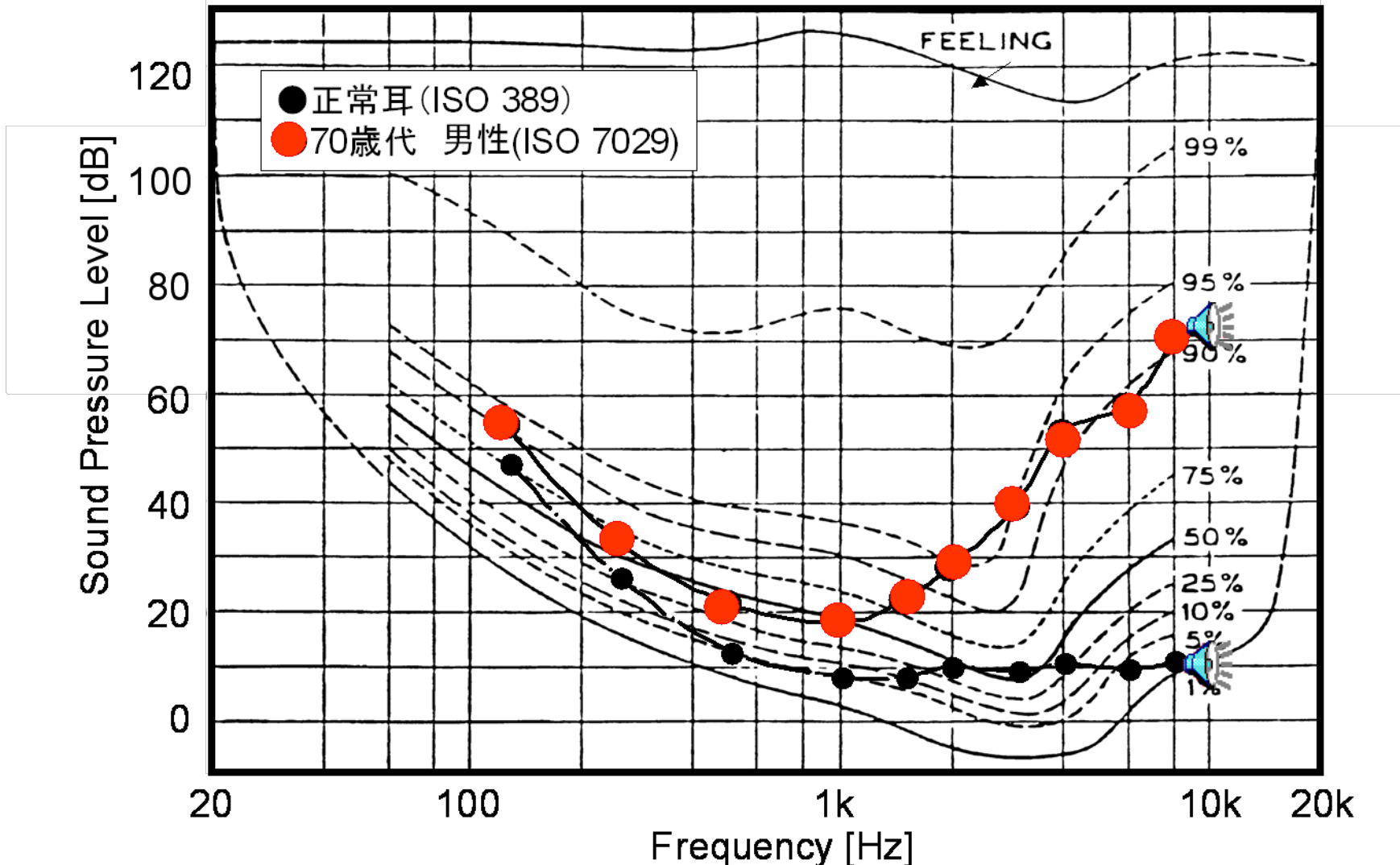
18歳の聴力を基準とした最小可聴閾値の上昇量の中央値 (ISO7029).  
(左図: 男性, 右図: 女性)



18歳の聴力を基準とした20歳代と70歳代の最小可聴閾値の上昇量の中央値と80%信頼区間 (ISO7029).  
(左図: 男性, 右図: 女性)

周波数, Hz

# 音が聞こえる範囲(パーセンタイル値)と聴力



正常耳の最小可聴閾値(ISO 389)と70歳代男性の最小可聴閾値(ISO7029)を Fletcherの最小可聴閾値の範囲の図にプロットしたもの

(Fletcher,H. : Speech and Hearing in Communication (D. Van Nostrand,1953), p.136)

# 音声伝達の評価と AIJアカデミックスタンダード

# 音声伝達のプロセス

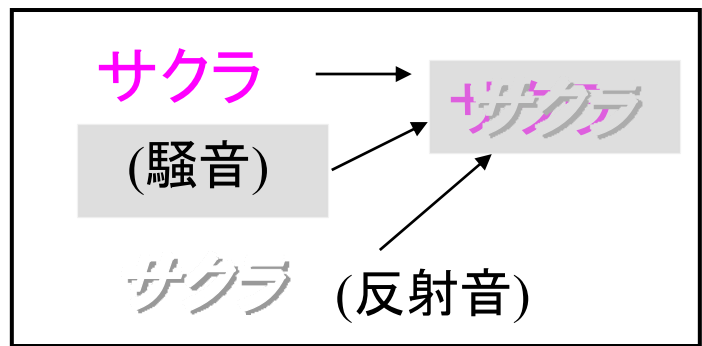
ヒト(話者)・機器

機器・空間

ヒト(聴き手)

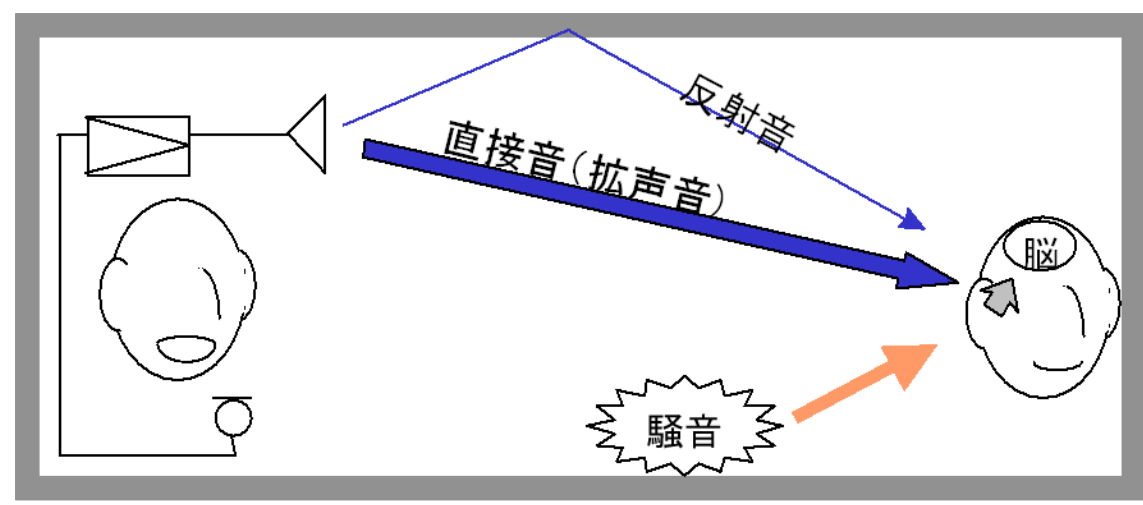


サクラ

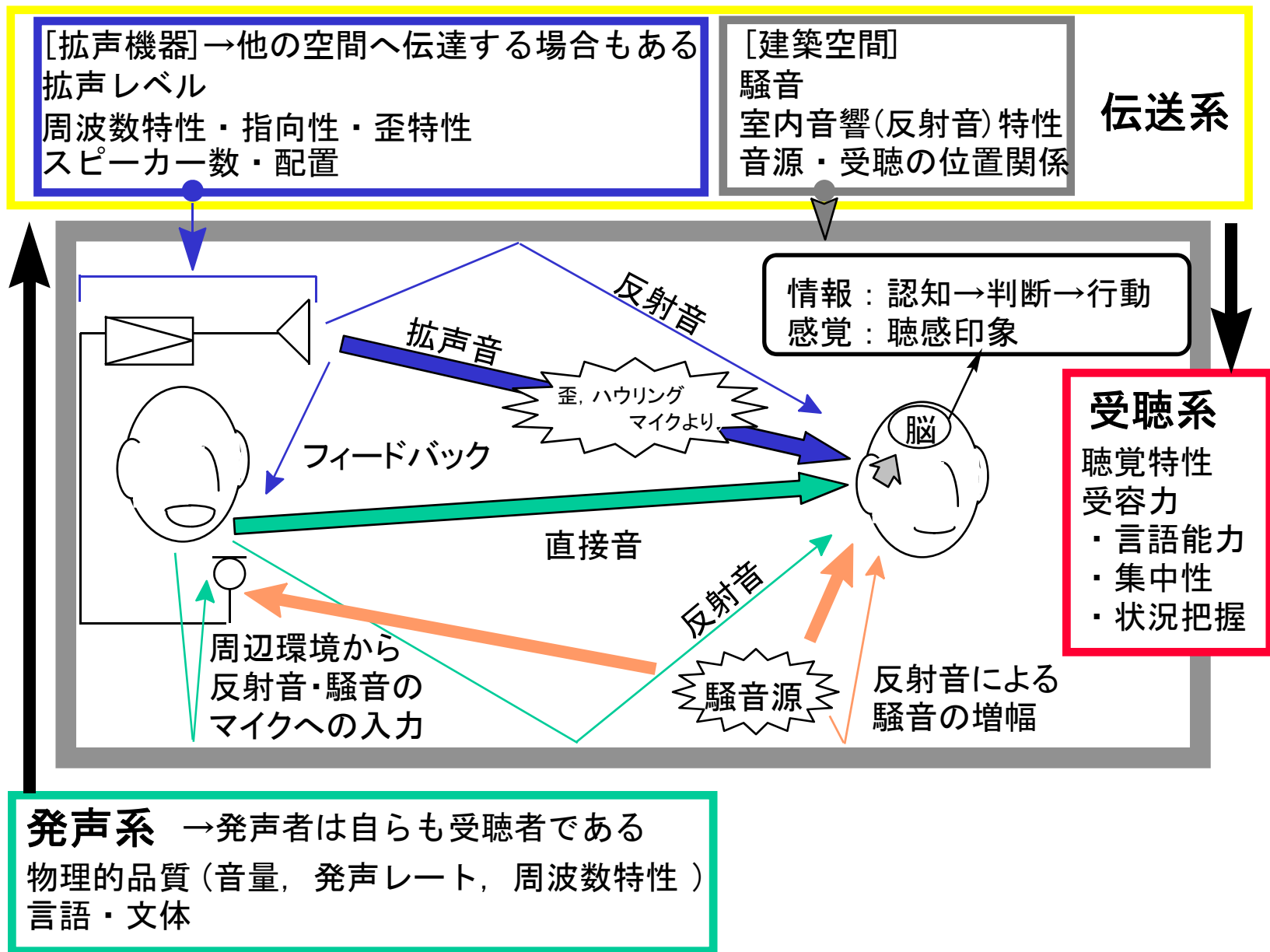


マクラ?

聴力損失による 認識結果  
る情報の欠損



# 音声情報伝達の過程と諸因子





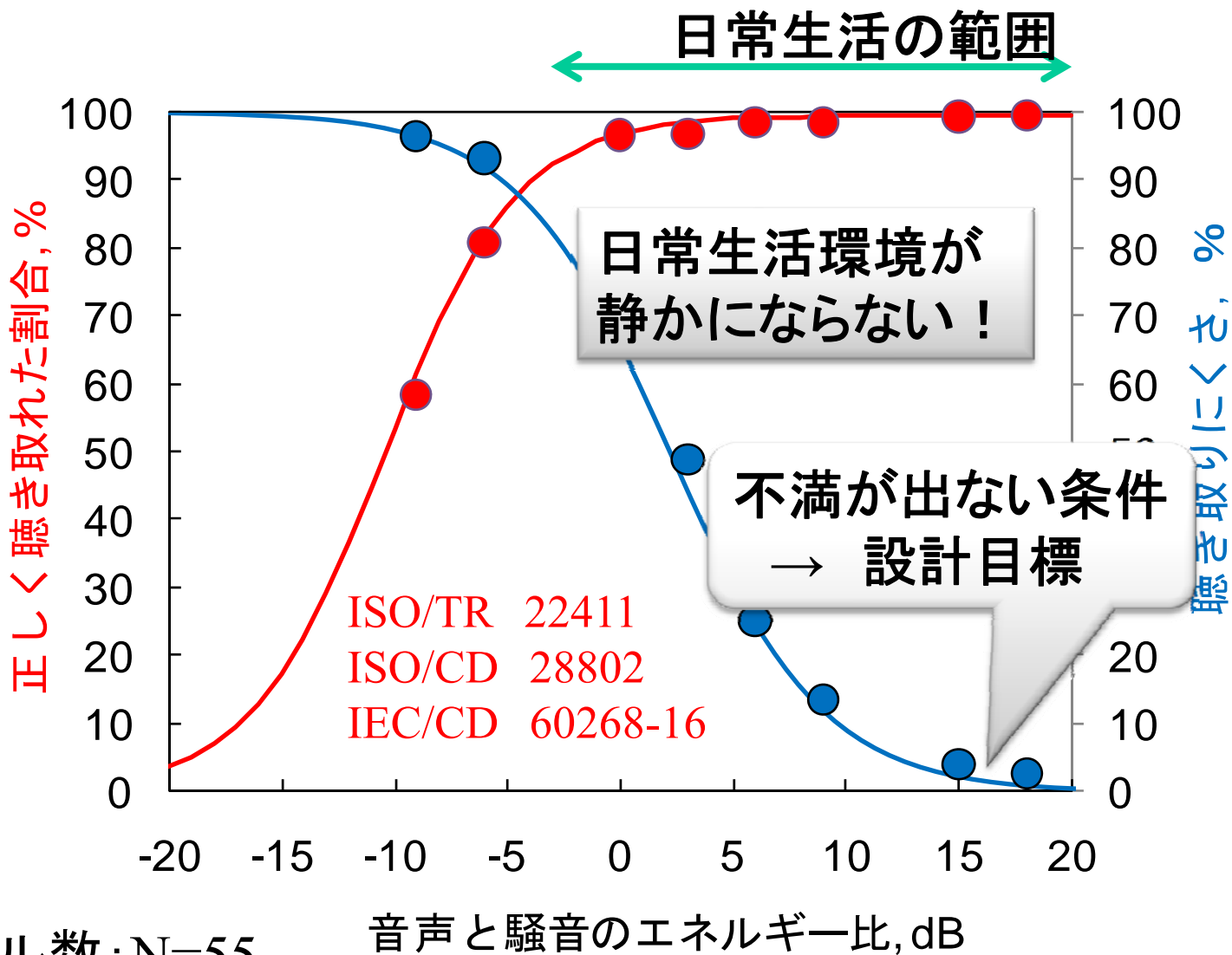
# 用途空間ごとの音声コミュニケーション ニーズの評価と物理的特性の評価

	情報の階層	非常時必須の情	対面コミュニケーション主体	サービス行動基準	サービス音声聴取を目的	パフォーマンスとしての音声聴取	一方的な音声供給
		音声情報の内容	非常放送	会話	案内・誘導・呼出・交信	スピーチ・講義	演劇, 芝居
	Noisy→	100%情報伝達ができる環境	会話を阻害しない音環境	良好な情報伝達	良好な伝達と不快でない聴取環境	不快でない聴取環境と表現の自由度	不快でない音環境(騒音制御)
各種の個室	住宅 宿泊施設 診察室・相談室 商店, 事務所 レストランなどの個室		◎ ◎ ◎ ○ ○				◎
各種業務窓口	大空間の中で対話の場として限定された局所	政府・自治体施設 金融機関 旅行者窓口 商業施設のレジ	△ △ △ △	◎ ◎ ◎ ◎	◎ ◎ ○		
各種教室	数十人までで討論・受講など、公開性が高くなり、均等な条件の保持が要求される装置を使用しない限界	講習会会場 保育園, 幼稚園 学校教室 コミュニティーセンター	○ △ △ ○	△ ○ ○ ○	◎   	△	
中小会議室	上記同様、但し年齢層は高く、男性が多い	企業事務所 庁舎 貸し会議室	○ ○ ○	○ ○ ○		△ △ ○	
各種集会場	大会議室 教会 中小ホール	○ ◎ ○	○  	○  	○ △ ○	○  	

凡例  
◎: 高齢者対応  
○: 重視すべき  
△: 考慮すべき

この表の各項目の優先順位の整理と適用する評価方法の分類等を行う。最終的には空間ごとの代表的な物理的特性が記され、音声伝達性能が予測される、あるいは設計許容基準として記される。

# 「聴き取りにくさ」による評価の提案



サンプル数: N=55

# AIJアカスタ: 音声伝送性能のランク

## 日本建築学会 都市・建築空間の音声伝送性能評価規準

### 音声伝送性能の評価に用いるランク及びそれらの位置づけ

#### 各ランクの位置づけ

ランク	「聴き取りにくさ」	「聴き取り間違い」
1 <sup>st</sup>	感じない.	感じない
2 <sup>nd</sup>	若干感じる.	
3 <sup>rd</sup>		生じない最低のランク.
4 <sup>th</sup>	かなりの程度感じる	若干生じる.

## 4. 音声伝達形態及び伝達種別と対応する音声伝送性能のランク

音声伝達形態と伝達種別ごとに必要とされる音声伝送性能のランクを表-2に示す。

表-2 音声伝達形態及び伝送種別ごとのランク

音声伝達形態	伝送種別	ランク	
		I	II
(1) 会話	拡声なし	2 <sup>nd</sup>	3 <sup>rd</sup>
(2) スピーチ・講義	拡声なし	2 <sup>nd</sup>	3 <sup>rd</sup>
	拡声あり	2 <sup>nd</sup>	3 <sup>rd</sup> *
(3) 案内放送	拡声あり	2 <sup>nd</sup>	3 <sup>rd</sup> *
(4) パフォーマンス	拡声なし	(要配慮)	
	拡声あり		
(5) 非常放送	拡声あり	3 <sup>rd</sup> *	

- 1) ランク I は音声伝達のみが目的であるか、または他の目的を遂行するのに良好な音声伝達が不可欠である場合。
- 2) ランク II は I に含まれない室用途に適用。
- 3) 3<sup>rd</sup>\*があてはまるスピーチ・講義(拡声)の II, 案内放送の II に対するランク, 非常放送のランクは, 屋外や残響過多の大空間, 暗騒音レベルが必然的に高い場合は4<sup>th</sup>もやむを得ない。

## 室用途と想定される音声伝達形態の対応(案)

室用途グループ	具体的な室用途例	音声伝達形態 <sup>1)</sup>		
		(1)会話	(2)スピーチ 講義	(3)案内 放送
1 対面の会話を主目的とする室	受付・窓口, 応接室, 診察・医務室, 相談室	I	—	(II)
2 対面の会話が状況により必要な室	事務室, レストラン(個室), 休憩室・談話室, 食堂・喫茶	(II)	—	—
3 スピーチ・講義を主目的とする室	講堂, 講義室, 教室, 特別教室, 研修室, 集会室, 大会議室, 会議室	(II)	I	(II)
4 スピーチ・講義が状況により必要な室	劇場・多目的ホール, 視聴覚室, 音楽室, 礼拝堂, 宴会場, 体育館	—	(II)	(II)
5 案内放送が特に必要な室	音楽専用ホール, 映画館, 遊技場, プール, 競技場, プラットホーム, アトリウム, 展示室など	—	—	I / II
6 音声伝送に特殊な対応が必要な室 <sup>2)</sup>	手術室, 葬式場, 神式式場, 告解室, 法話室, 本堂, 法廷, 取調室, 管制塔など	(I) / (II)	(I) / (II)	(I) / (II)
7 音声伝送以外の音響的配慮が必要な室 <sup>3)</sup>	スタジオ, オーディオルーム, 調整室, 執務室(個室), 居室, 宿泊室, 機械室など	—	—	—
8 音響的配慮を特に必要としない室	コンピュータ室, クリーンルーム, 記者室検査場, 検査室, 採血室, リハビリ室など	—	—	—

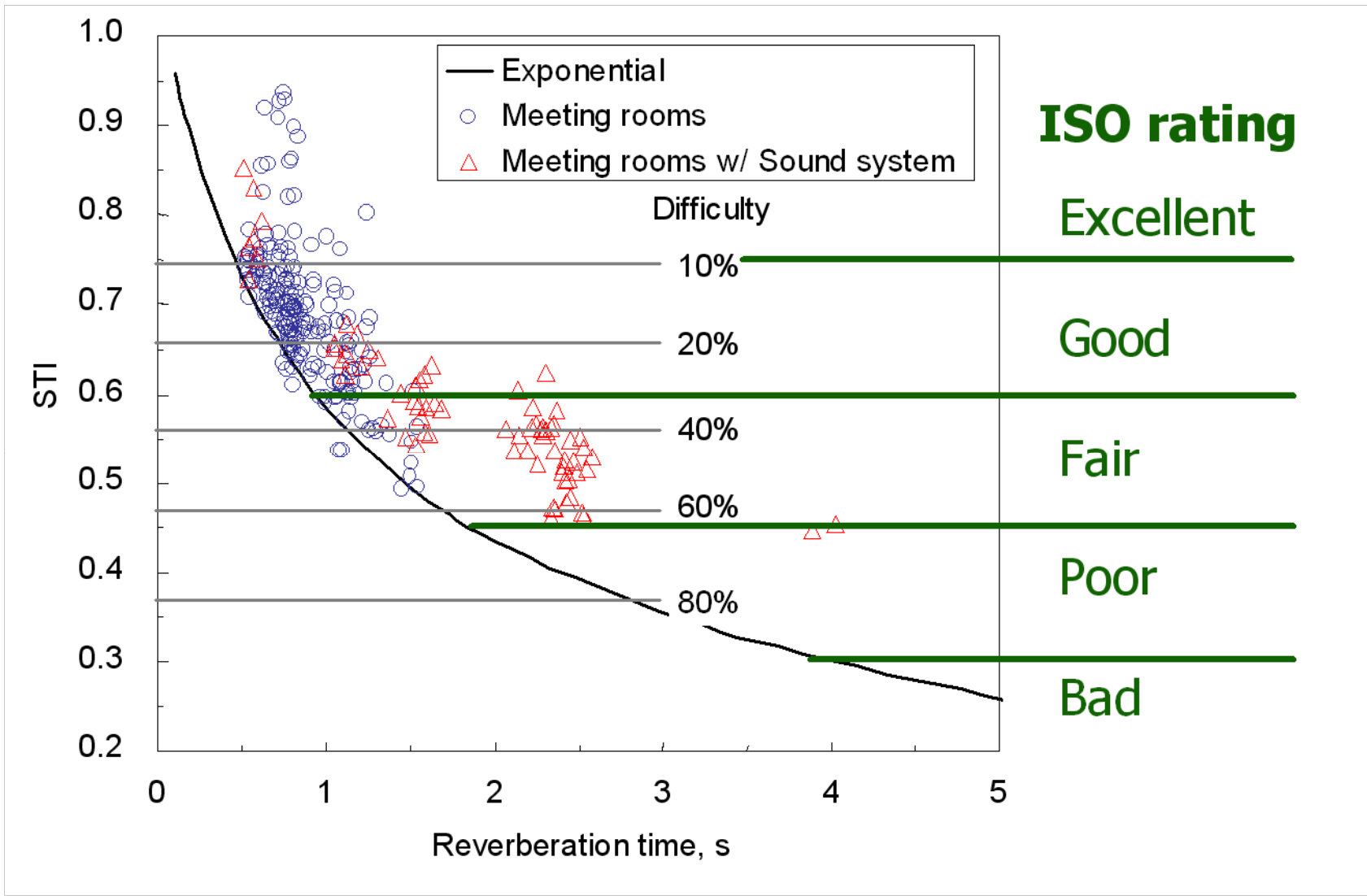
1) 表中の記号 I, II は表-2 のカテゴリーに対応する

ただし, (I), (II) は当該の音声伝達形態を必要としないケースが考えられ, 室用途に応じて検討が必要である

2) 音声伝送が必要と考えられるが, 内装材の制限等の理由により, 室用途に応じた特殊な対応が必要である室

3) 遮音や静謐性能, 残響制御などが必要な室

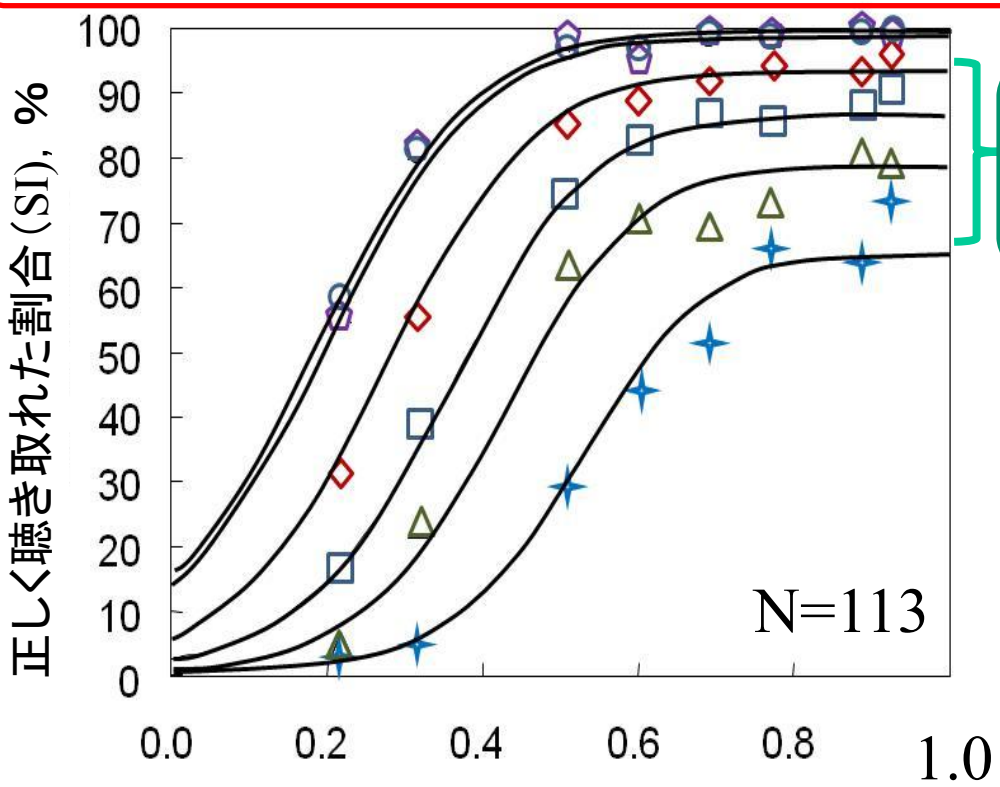
# AIJ-WGによるIRデータベースより求めた残響時間とSTIの関係



# 高齢者の言葉の聴き取り

# 聴力低下と音声を正しく聴き取れた割合の関係

- 若齢者 (PTA -5 to 10 dBHL)
- ◇ 高齢者 1 (PTA 10 to 20dBHL)
- △ 高齢者 3 (PTA 30 to 40dBHL)
- ◇ 中年層 (PTA -5 to 10dBHL)
- 高齢者 2 (PTA 20 to 30dBHL)
- ★ 高齢者 4 (PTA > 40dBHL)



高齢者  
↓  
聴力低下

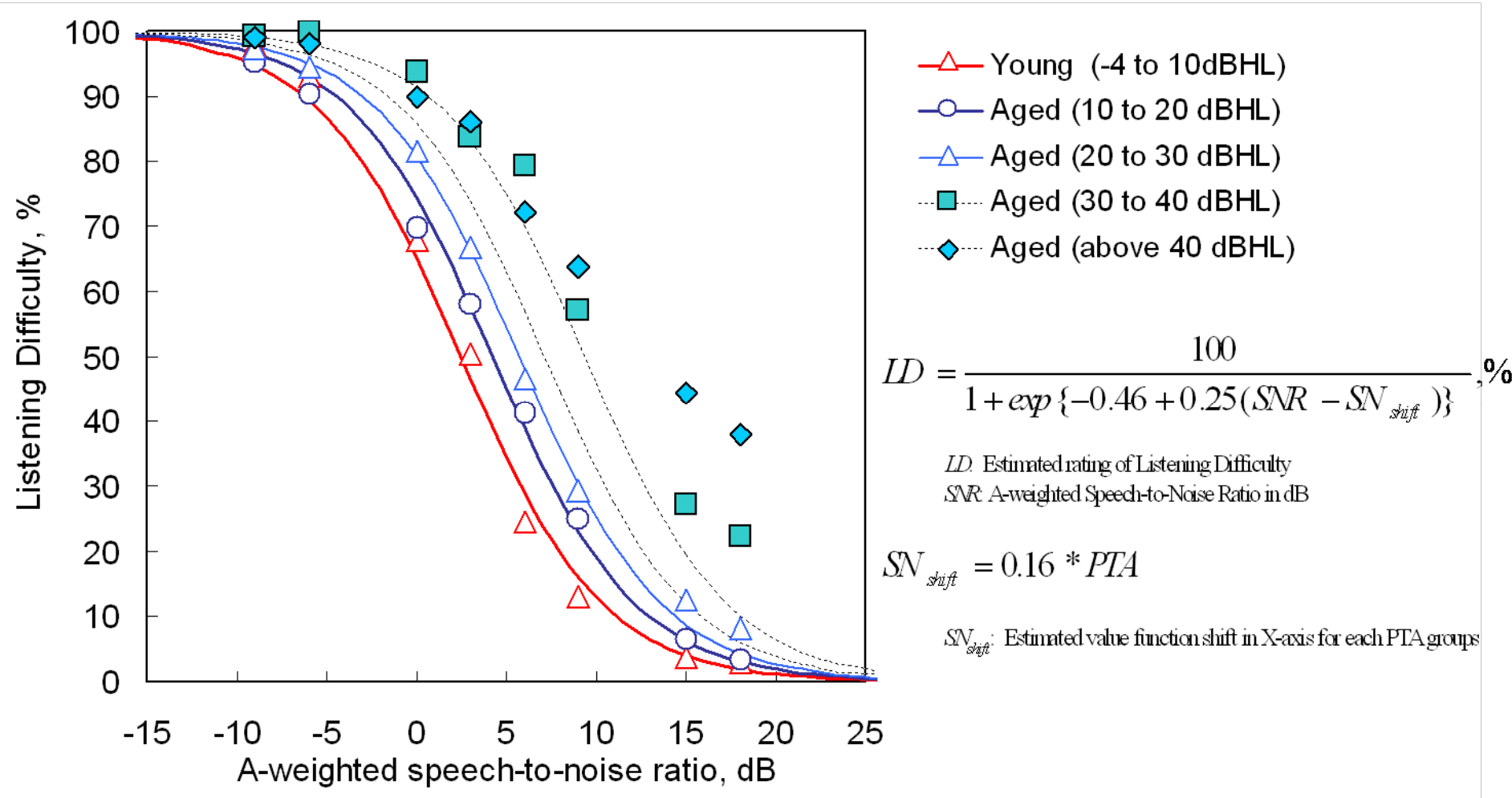
聴力レベルと音環境条件(STI)の関数として表現できる

$$SI = \frac{SI_{max}}{1 - \exp\{1.65 - 10.5(STI - 0.008PTA)\}} [\%]$$

$$SI_{max} = 100 - 0.14PTA^{1.43}$$



# 聴力から騒音下における「聴き取りにくさ」を予測



# 音声メッセージの設計：話速とキーワード数

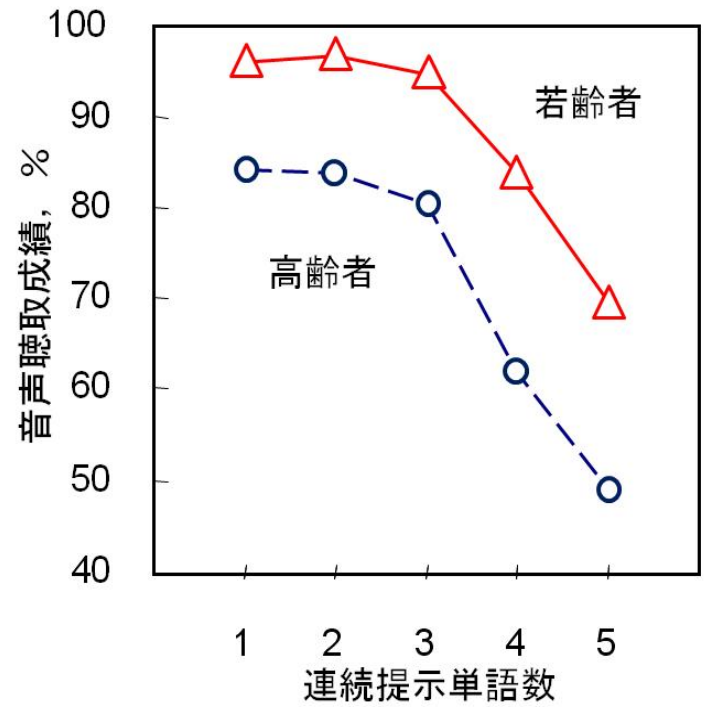
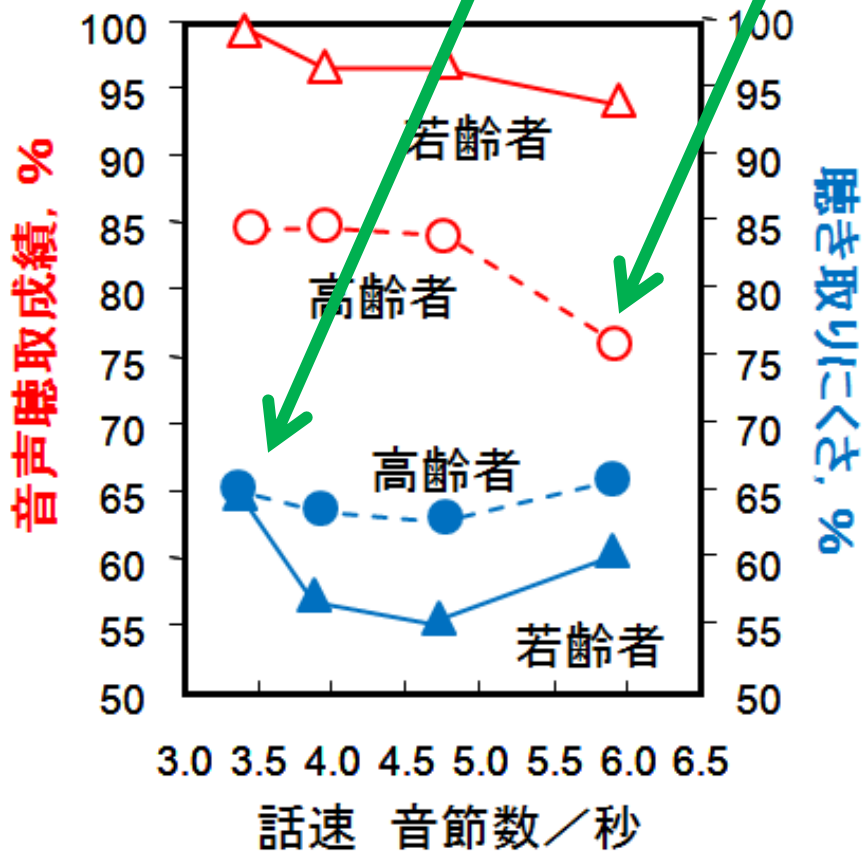
N=50+50

ポイント1

ゆっくりすぎず，速すぎず

ポイント2

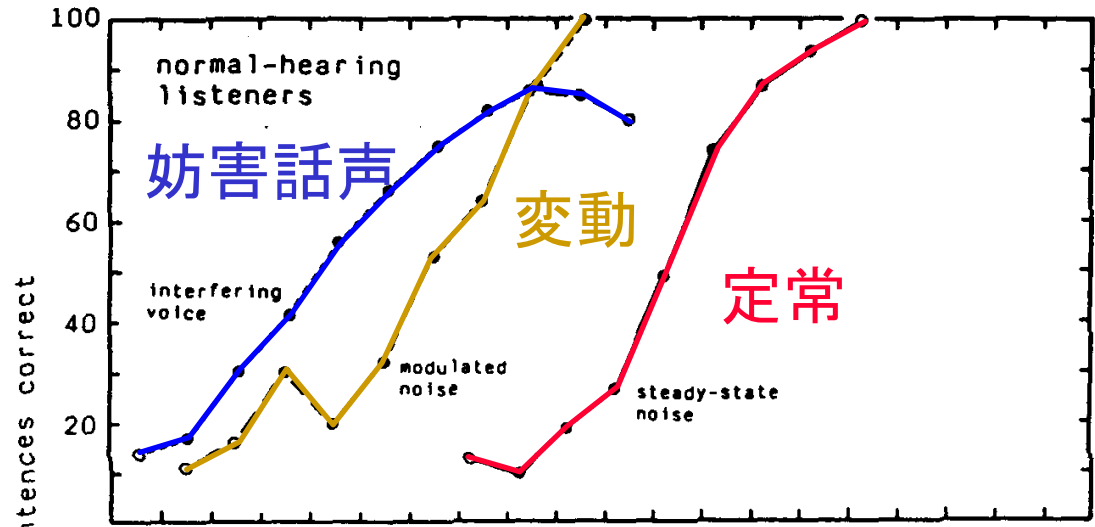
1フレーズ中の最大キーワード数は3つまで。



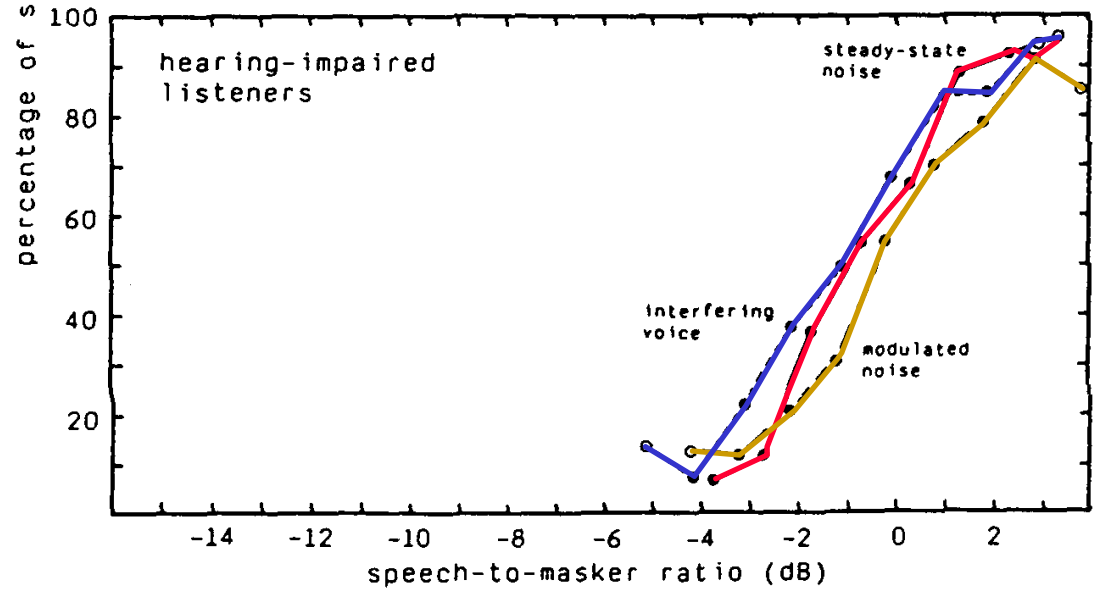
ゆっくり 速い

佐藤 AIJ大会2008

高齢者は変動している音の中から情報を取り出すことが難しい！



若齡者



高齢者

(J.M.Festen and R.Plomp, JASA,1990)

# 高齢者・障害者の感覚特性

- 入力情報の劣化

時間分解能, 周波数分解能, 空間分解能

- 情報伝達および処理の遅れ(高齢者)

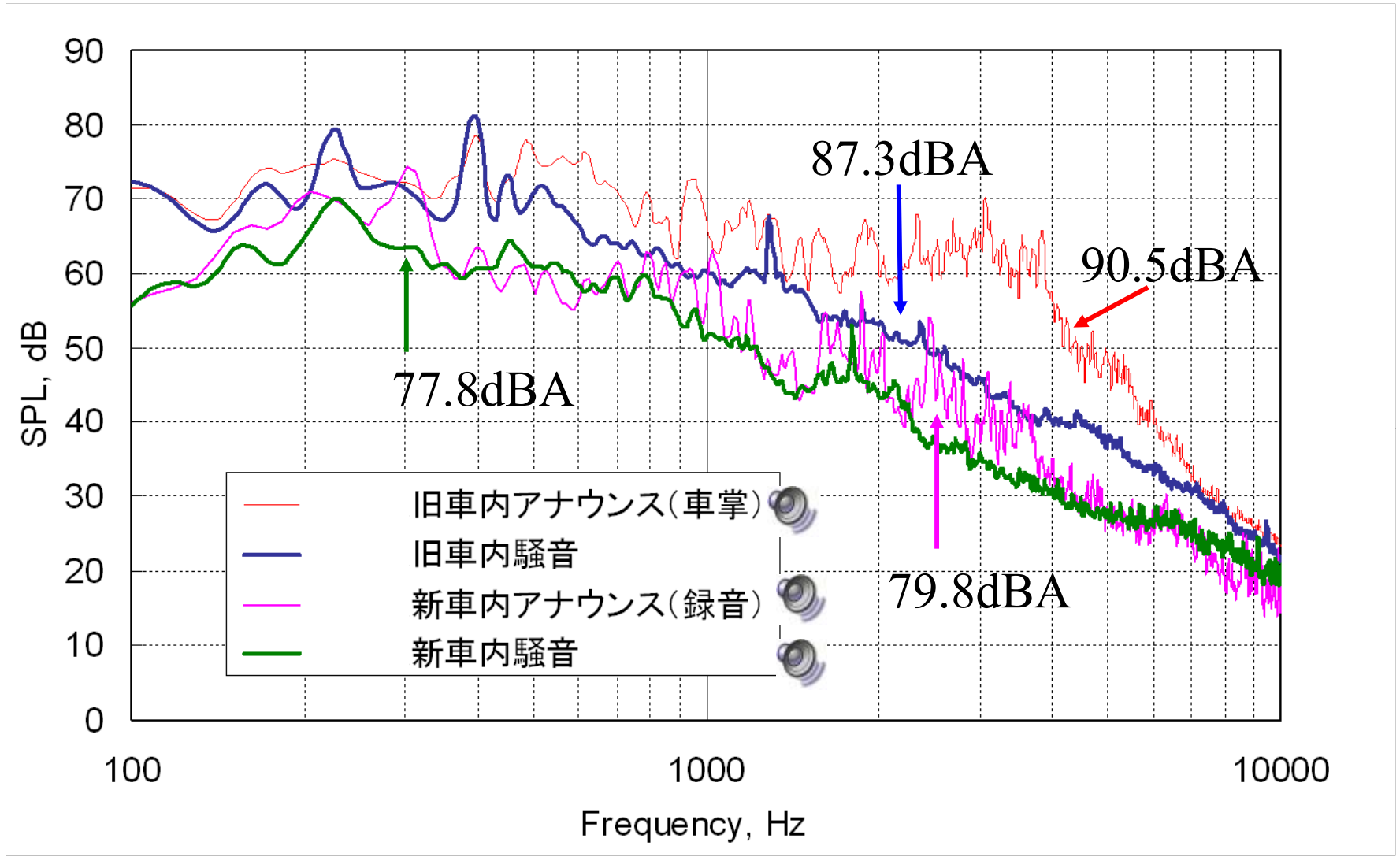
処理能力および容量の低下

- 入力情報の劣化に伴う高次処理への負荷増大

処理速度のさらなる低下

入力情報の質を向上させる  
認識および操作に要する時間を許容する

# 列車内の騒音とアナウンスの周波数特性



# 駅のコンコース吸音対策

## 吸音材貼付の効果を検証



原音声 

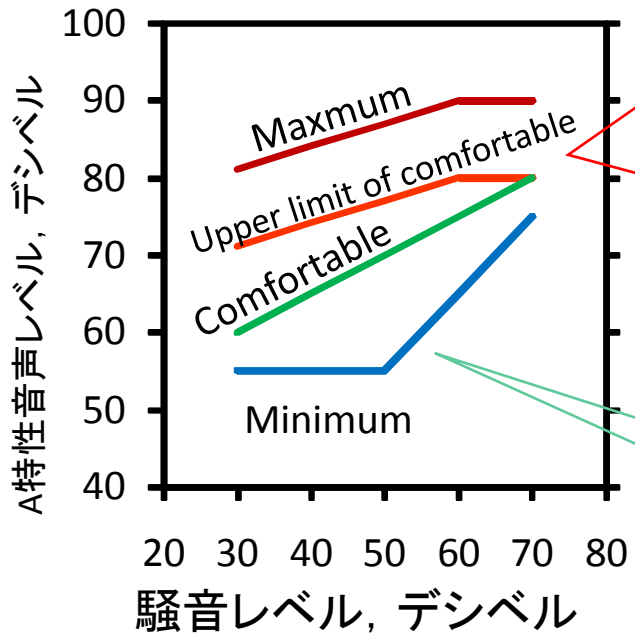
← 吸音あり 



 吸音なし →

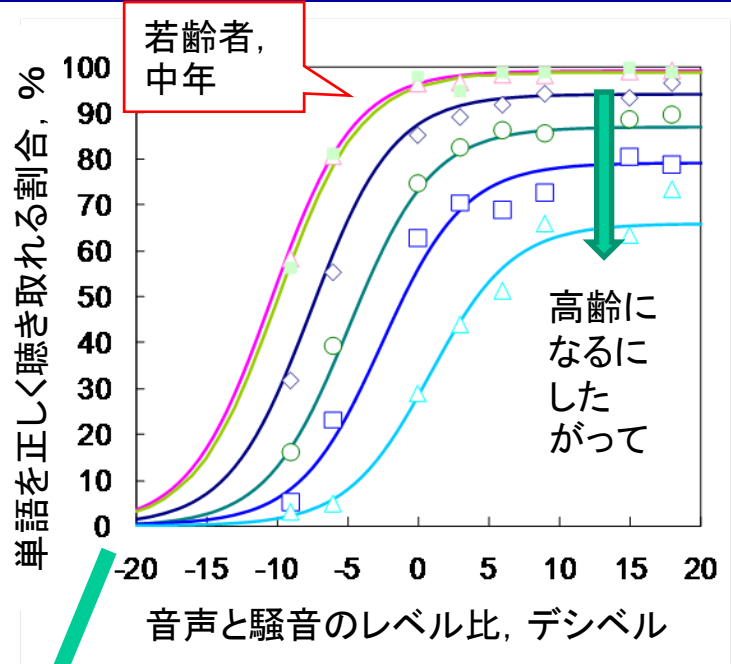
人間工学-消費生活製品や公共空間での音声案内  
- 高齢者に配慮した音声案内の音声レベル

騒がしいところでの音声レベルの範囲の提案



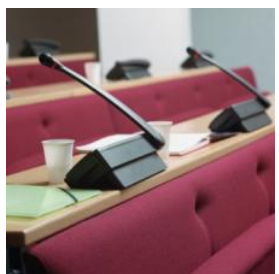
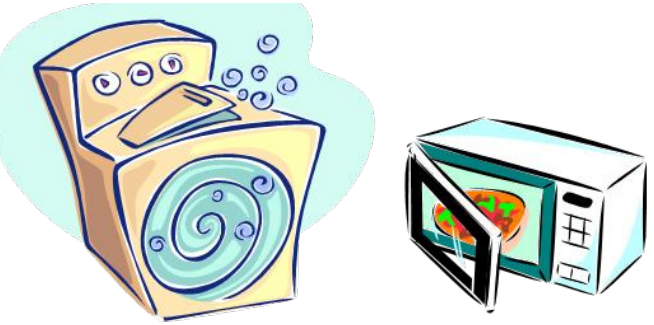
聴き取りにくさを低減し、大きすぎる音を避けるための快適な音声レベルと最大音声レベルの明示、高齢者も若い人も同じレベル

高齢者がきちんと理解できるための最低音声レベル



高齢になるにしたがって音声情報の理解は難しくなっていく

いろいろな場所で  
音声アナウンスが使われています！



# 音案内

## 現状



国土交通省総合政策局交通消費者行政課監修：  
**視覚障害者の音による移動支援のためのガイドライン**，  
 公共交通機関旅客施設の移動円滑化整備追補版，交通エコロジー・モビリティ財団

「案内ができていないのか？」「うるせえ」「とらう苦情あり。」

## 研究の方向性

年齢にかかわらず役立つ

やかましくない音の提案

方向判断に必要な条件の明示

周波数特性  
 時間パターン  
 音の大きさ  
 注意，頭の動かし方

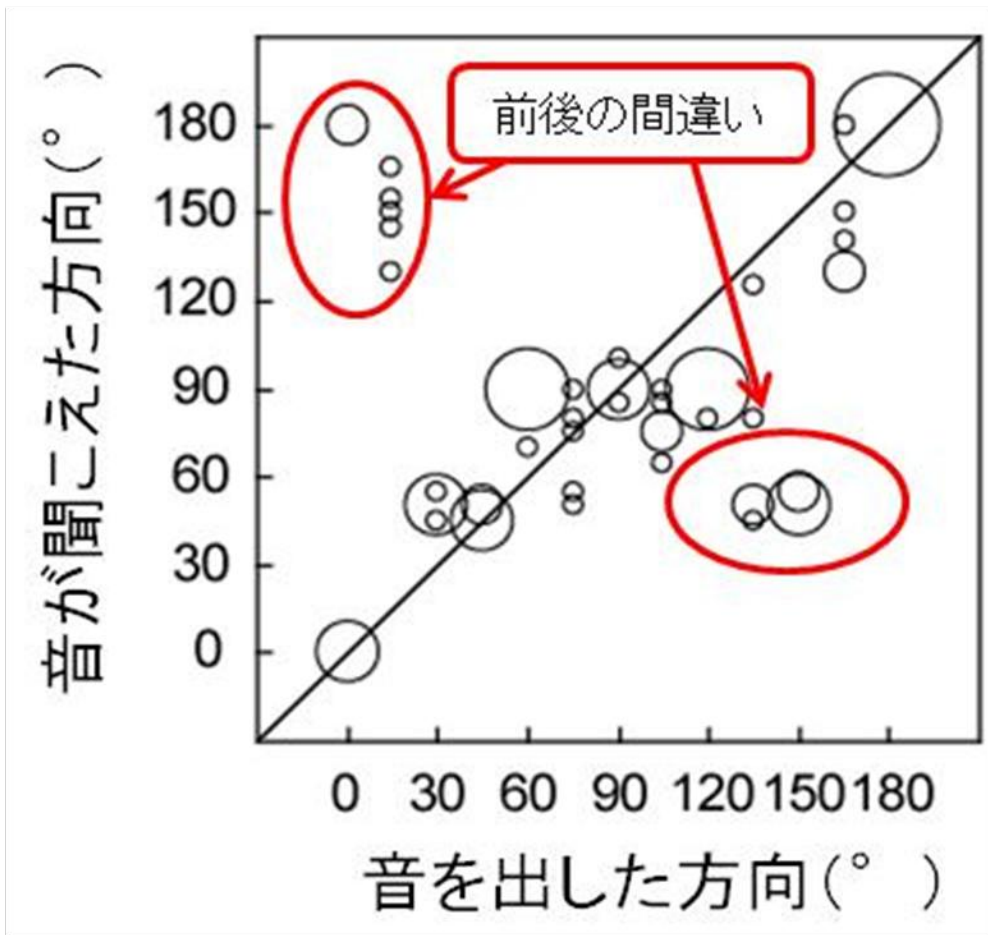
誰にでも役に立つ音案内





# 方向判断のデータベース構築

様々な音場条件における様々なヒトの音方向判断特性の測定



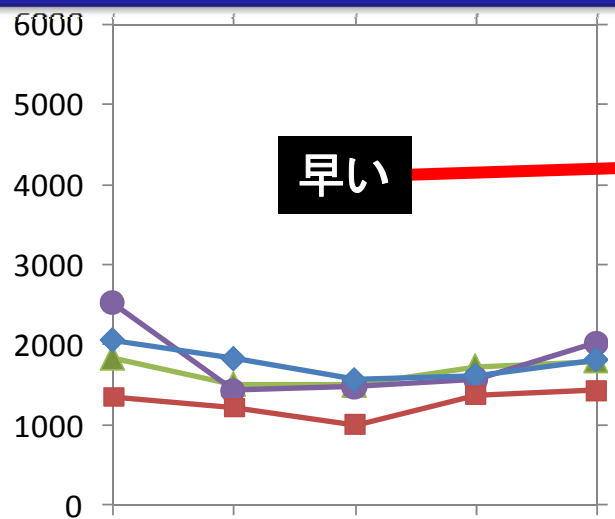
データベース化

現在のところ  
視覚障害者  
N=22  
健常者 N=30

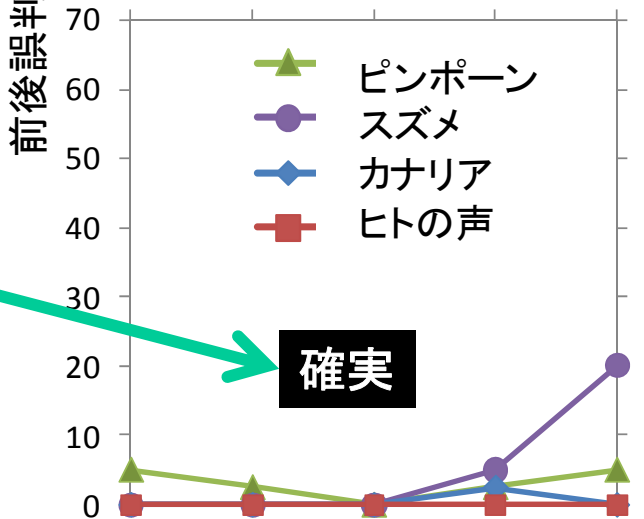
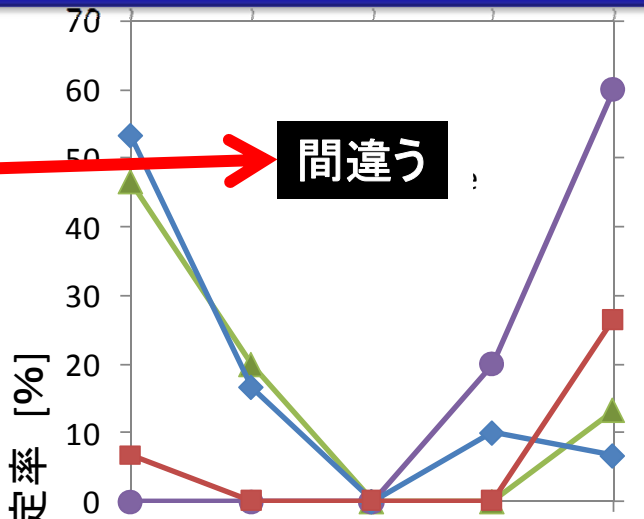
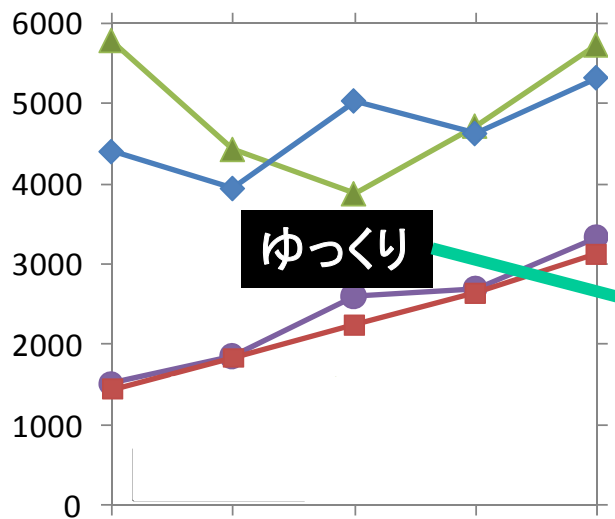
# 音の方向判断の個人差 (視覚障害者, 頭部自由)

高齢者 N=3

方向を同定するまでに要した時間 [ms]



中齢者 N=4



状況により、多くのユーザーに  
起こる可能性

早い

間違う

ゆっくり

确实

単純なデータの積み重ねで  
定性的な「配慮」から  
定量的な「設計」へと前進させる