

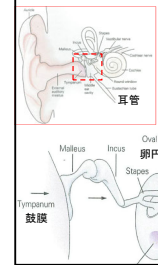
## Interactive System インタラクティブシ テム特論(5)

Hiroyuki Kajimoto  
kajimoto@hc.uec.ac.jp  
Twitter ID kajimoto  
Hash tag #itsys

### Schedule

- 10/5 ・ 講義(lecture)
- 10/12 ・ 講義(lecture)
- 10/19 ・ 講義(lecture)
- 10/26 ・ 講義(lecture)
- 11/2 ・ 休講
- 11/9 ・ 休講
- 11/16 ・ 休講
- 11/23 ・ 調布祭期間, 11/25(日) オープンラボ研究室見学(任意)
- 11/30 ・ 講義(lecture)
- 12/7 ・ 講義(lecture)
- 12/14 ・ 休講
- 12/21 ・ 講義(lecture)
- 1/11 ・ 講義(lecture)
- 1/18 ・ センター試験準備日
- 1/25 ・ プレゼンテーション(presentation)1
- 2/1 ・ プレゼンテーション(presentation)2
- 2/8 ・ プレゼンテーション(presentation)3

### 中耳/Middle Ear



- ・ 鼓膜/Tympanum
  - 厚み/Thickness 0.1mm
  - 直径/Diameter 8-9mm
  - 知覚可能最小振幅  
/Min. Amplitude 0.12 μm
- ・ 耳小骨/Ear ossicles (tiny bones)
  - つち, きぬた, あぶみ骨  
Malleus, Incus, Stapes
  - 増幅/Amplification
  - 筋肉が付属: 強い音で硬くなる反射(減弱反射) ⇒ 伝達を減衰/Connected muscle modulate transfer efficiency (attenuation reflex)
- ・ 耳管/Eustachian tube
  - 気圧調整/Connected to throat and keeps air pressure

### 中耳検査/Examination of Middle Ear

- ・ 音を入れた際の反射音強度からインピーダンスを計測  
Impedance measurement by reflected sound
  - ティンパノメトリー/Tympanometry
    - ・ 外気圧を変動させた際の鼓膜の振動のしやすさ(インピーダンス)を検査  
Measure tympanum's impedance while changing external air pressure
  - 耳小骨筋反射検査/stapedial reflex
    - ・ 鼓膜に大きな音を入力したときの減弱反射を鼓膜の振動のしやすさ(インピーダンス)で検査  
Measure tympanum's impedance while inputting very large sound

### Outline of the lecture

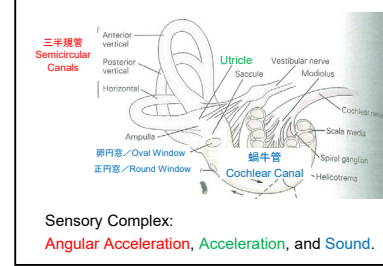
1. 人間計測手法/Measuring Human
2. 視覚/Human Vision System
3. 視覚センシング/Visual Sensing
4. 視覚ディスプレイ/Visual Display
5. 聴覚、聴覚インタフェース/Auditory Interface
6. 触覚、触覚インタフェース/Tactile Interface
7. 力覚、力覚インタフェース/Haptic Interface
8. 移動感覚インタフェース/Locomotion Interface



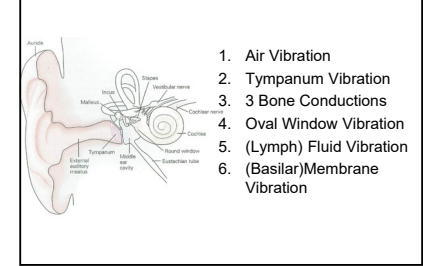
### TODAY'S TOPIC

1. Ear Mechanism
2. Auditory Perception
3. Interactive System
  1. Auditory Devices
  2. 3D Audio
  3. Synthesis of Auditory and other sensations
  4. Auditory sensation and welfare engineering

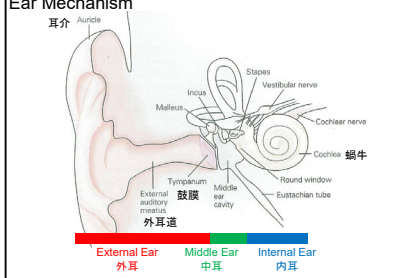
### 内耳/Internal Ear



### 伝達のしくみ/Mechanical Transmission



### Ear Mechanism



### 外耳/External Ear

- ・ 耳介/Auricle
  - 集音/Collection of sound
  - 方向定位/Directional sensation
- ・ 外耳道/External Auditory Meatus
  - 共振管/A resonating pipe
  - 2.5-3.5cm = 1/4λ
  - Lowest resonant freq. = 3-4kHz

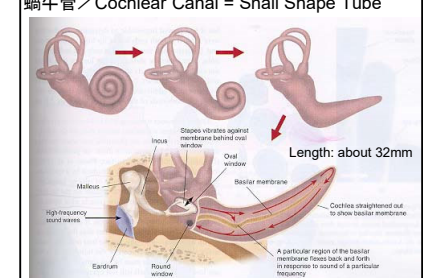
### 中耳における増幅/Lever Mechanism at Middle Ear

問題: 空気振動で液体を駆動?  
Problem: How to drive Fluid by Air?

Fluid has 4000x more impedance than Air (Most energy is reflected)

1. Tympanum size is 17x larger than Oval Window.
2. 3 Bones has 1.3x mechanical lever
3. In total, Force is magnified 22x, while amplitude is reduced.


### 蝸牛管/Cochlear Canal = Snail Shape Tube



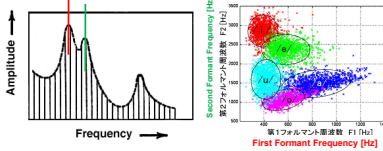


### 周波数領域 / Frequency Range

- 20Hz~20kHz (Higher than 20kHz = ultrasound)  
Become worse with aging
  - especially upper limit becomes lower.
  - "Mosquito Noise": Children can hear, while Adults cannot.
  - Used for Cellphone ring



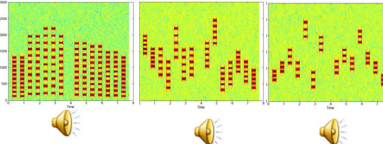
### 音は周波数分解されて知覚される / Sound is analyzed by Frequencies.



- Ex. Formant
- Vowel is analyzed by "two major peaks".
  - First Formant: 500~1000Hz
  - Second Formant: 1500~3000Hz

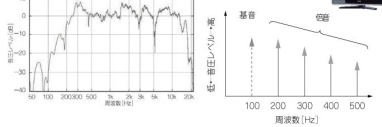
### ミッシングファンダメンタル現象 / Missing Fundamental

基底音が無くても、倍音成分の間隔で基底音を知覚できる  
Without basis frequency, we perceive it by harmonic structure.



<http://www.bri.ntt.co.jp/illusionForum/a/missingFundamental/ja/index.html>  
このページは錯視・錯聴について最もまとまっているのでチェック

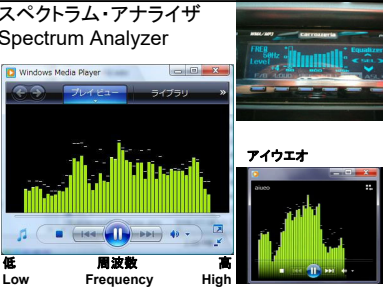
### ミッシングファンダメンタルの応用 / Application of Missing Fundamental



小型スピーカは低周波を出しにくい。Small speaker can't output low freq.  
200Hz以上で、100Hzの倍音を聞かせると、100Hzの基底音が聞かえる。  
薄型テレビ (特に内蔵スピーカの特性が多くなりがち) で採用。  
Outputting 200,300,... frequency sound, we perceive 100Hz basis freq.  
Thin TV (which has small speaker) applies this method.


[http://www.kumikomi.net/archives/2009/09/dsp\\_1.php](http://www.kumikomi.net/archives/2009/09/dsp_1.php)

### スペクトラム・アナライザ / Spectrum Analyzer



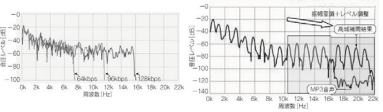
低 Low      周波数 Frequency      高 High

### しゃべるピアノ / Speaking Piano



[http://www.youtube.com/watch?v=muCPIK4nGY4&feature=player\\_embedded](http://www.youtube.com/watch?v=muCPIK4nGY4&feature=player_embedded)

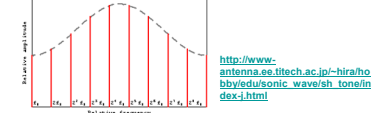
### 倍音構造の応用 / Application of harmonic structure



MP3等の圧縮では高周波領域カット→自然に聞こえない場合がある。  
再生時、「楽器音には倍音構造がある」ことを利用、周波数を拡張。  
As compression such as MP3 cuts off high freq., harmonic structure of musical instrument is utilized for compensation.

<http://www.kumikomi.net/archives/2009/08/dsp.php?page=1>

### 無限音階(シェパードトーン) / Shepard Tone



人間が周波数構造を知覚していることを利用、主観的には無限に上昇する音を作ることができる  
Utilizing human perception of spectrum structure, infinitely rising (falling) sound can be generated.

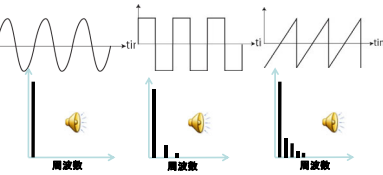
YMO LOOM(1981)

### Yanny-Laurel問題

動画

2018年、同じ音声がある人はYanny、別の人はLaurelと聞き取れるということで話題に。  
<https://www.theguardian.com/global/video/2018/may/16/what-do-you-hear-in-this-audio-clip-yanny-or-laurel-takes-internet-by-storm-video>

### 倍音構造の知覚 / Perception of Harmonic Structure



これらを入人は、「音色は違うけれど同じ」と思える  
We Perceive these sound as the same pitch, although tone is different.

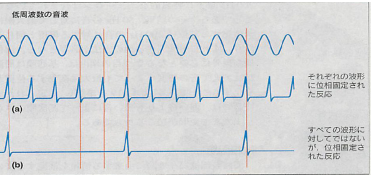
### 音源定位 / Sound Position Localization



- 両耳の差 / Difference of two ears
  - 20~2kHz 時間差、位相差 / Temporal (Phase) Difference
  - 2kHz~ 強度差 / Amplitude Difference
- 上下方向の定位: 耳介による音色変化  
Earlobe filters the sound, so that sound tone changes with vertical position.
  - Sound from Front: f1=-0.9, f2=-0.6, f3=-0.5, ...
  - Sound from Back: f1=-0.7, f2=-0.9, f3=-0.6, ...
  - Sound from Top: f1=-0.5, f2=-0.5, f3=-0.3, ...

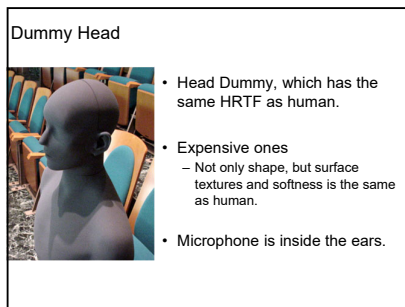
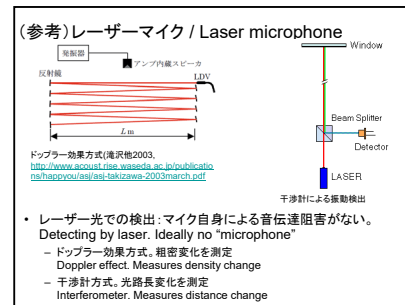
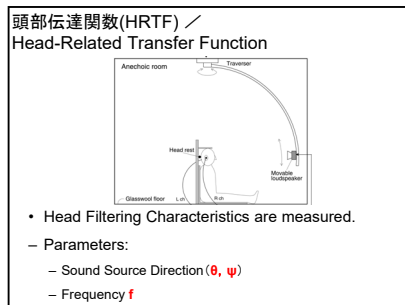
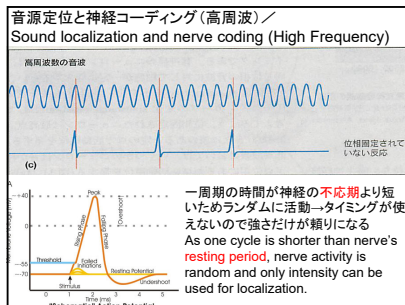
純音の定位は不可能。未経験の音の定位も難しい  
Pure tone localization is impossible. Inexperienced sound is also difficult

### 音源定位と神経コーディング(低周波) / Sound localization and nerve coding (low frequency)



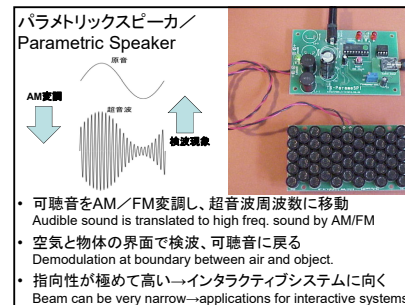
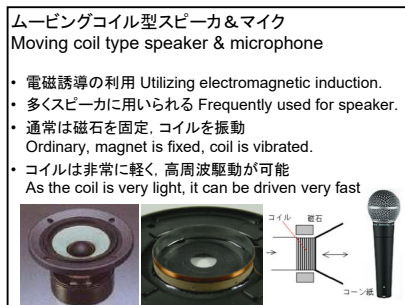
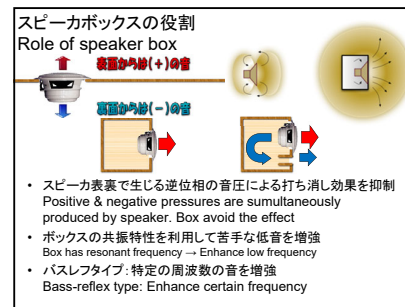
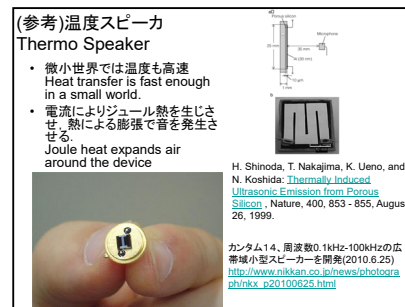
位相固定された活動 → 音源定位に神経活動のタイミングが使える  
Nerve activity is phase-locked so that "timing" can be used for localization.





### TODAY's TOPIC

1. Ear Mechanism
2. Auditory Perception
3. Interactive System
  1. Auditory Devices
  2. 3D Audio
  3. Synthesis of Auditory and other sensations
  4. Auditory sensation and welfare engineering





LRAD (Long Range Acoustic Device)

SEA SHEPHERD CONSERVATION SOCIETY  
OPERATION MUSASHI  
Media Reel 6  
Sea Shepherd confronts Japanese Whaling Fleet  
02/05/2009  
T.R.T. 00:59  
<http://www.youtube.com/watch?v=FP2kxwVZI>

- パラメトリックスピーカの原理を用い、音エネルギーを遠くに飛ばす

Analysis of the situation

• "Holes" on the wall become numerous.  
• Sufficient number of holes destroy the wall

インタラクティブ技術特論

What about Headphone?

Normal Recording      Playing by Headphone

- Many information about Sound Source Position is Lost.
- Sometimes, Sound is Perceived as "Sound from Inside Head."

- TODAY's TOPIC
1. Ear Mechanism
  2. Auditory Perception
  3. Interactive System
    1. Auditory Devices
    2. 3D Audio
    3. Synthesis of Auditory and other sensations
    4. Auditory sensation and welfare engineering

Ordinary Recording and Playing

Record: by two microphones      Play: by two speakers

**WHY is it OK?**

インタラクティブ技術特論

Binaural Recording

Dummy Head      Head Phone

Perfect Sound Localization, Because All Three elements are replayed.

- Temporal Difference
- Amplitude Difference
- Frequency Change by Earlobe.

Vice Versa

Dummy Head      Speakers

Analysis of the situation

• Equivanent to Listen "through two holes on the wall".  
• Limited Naturalness, but almost OK.

Money solves the problem

Recording: N microphones      Playing: N speakers

インタラクティブ技術特論

We've heard of something similar...

- Headphone=HMD
- Speakers=Ground Fixed Type Display

Review: HMD and Camera for it.

### Head Tracking

- Robot head should move according to the user's motion.
- Headphone system with gyro(angular velocity sensor) is already commercially available.

図 2.2.2 マルチチャンネル音響システムのスピーカー配置

### Sound Field Reproduction

- Auditorium's sound characteristics is measured, just like HRTF

Put Point source speaker on the stage. Microphone is put on the seat.

### 擬似立体音響 / Pseudo 3D sound?

- モノラル音源をサラウンド「っぽく」する
  - From mon-sound, pseudo surround sound can be generated
  - 位相反転。左右どちらかのチャンネルだけスピーカの結線を逆に Phase reversal by miss-connecting one line
  - フェイズシフト(位相ずらし)。左右どちらかのチャンネルだけ再生時刻を遅らせる(数ms~数十ms) Phase shift by delaying one line

### TODAY's TOPIC

1. Ear Mechanism
2. Auditory Perception
3. Interactive System
  1. Auditory Devices
  2. 3D Audio
  3. Synthesis of Auditory and other sensations
  4. Auditory sensation and welfare engineering

### Sound Field Reproduction

Recording at anechoic room. Add the auditorium's transfer function

### Anechoic Room Experience

We do not have an experience of "truly no noise" situation. We hear heartbeat of ourselves, and sometimes feel dizzy.

When you have time, go to ICC (NTT Inter-Communication Center @ Hatsudai) <http://www.ntticc.or.jp/>

### 視覚と聴覚の融合

#### Synthesis of visual and auditory sensations

- 破裂音で左右のボールの動きが変わる Click signal produces collision-reflection feeling

### (参考) マガーク効果 / McGurk effect

<http://www.youtube.com/watch?v=afPctss3w8k>

Close your eyes -> Ba Ba Open your eyes -> Da Da

### サラウンドシステム / Surround system

- 5.1ch, 7.1ch...
  - 各スピーカーからリスニングポジションまでの距離(音の到達時刻)に応じた補正をすると音が「実体化」
- NHK技研の22.2ch [http://www.gizmodo.jp/2006/09/nhk222\\_1.html](http://www.gizmodo.jp/2006/09/nhk222_1.html)

### バーチャルサラウンド Virtual Surround

- 音源2個で任意の場所からの音を実現 Present locational sound by only two speakers
- スピーカー2個の場合はクロストーク除去が必要 2 speakers case, cross-talk should be eliminated

### 味覚と聴覚の融合

#### Synthesis of gustatory and auditory sensations

- ポテトチップスのサクサク音は味覚に影響する Crisp sound of potato chips alters taste
- IG Novei Prize for Nutrition 2008

Zampini, M., & Spence, C. (2004) The role of auditory cues in modulating the perceived crispness and staleness of potato crisps. *Journal of Sensory Studies*, 19, 347-363.

### 触覚と聴覚の融合(1/2)

#### Synthesis of tactile and auditory sensations

- Parchment-skin illusion(羊皮紙錯覚): 手の感触が音によって変化。両手をこすり合わせている時に、その音を変化させて被験者に提示→高音域増幅で手の感触が滑らか・乾燥、高音域減衰で粗・湿感。 Journalism, V et al. Parchment-skin Illusion: sound-based touch. *Curr. Biol.* 1998
- ダメーヘッドの左耳に挿入したマイクロホンで、耳を塞いでくすぐったい音を録音。この音をヘッドホンで提示すると耳にくすぐったさを感じる。 北川 幸彦 東京大学大学院工学系研究科情報工学専攻 <http://www.ics.ac.tu.ac.jp/icsoc/technews/2009/09/090401.html>





音響的影の提示による障害物検知  
Obstacle avoidance by presenting acoustic shadow

松尾他: 音響的影の提示による発覚感の増進. 日本バーチャルリアリティ学会 第12回大会論文集. [ddegree](http://www.ddegree.com)

高齢者のサポート1: 補聴器と骨伝導  
Supporting elderly: hearing aid and bone conduction

- 骨を振動させて音を伝える / Inner ear is directly vibrated by bone conduction
- 特に外耳、中耳に問題がある難聴で威力を発揮 / Effective if problems are in external ear or middle ear.

高齢者のサポート2: 速度の低減  
Supporting elderly: speed reduction

携帯型話速変換機  
<http://www.kumikomi.net/archives/2012/08/20120820-ohp.html>  
<http://www.human.rcast.u-tokyo.ac.jp/PressRoom/04.html#e1114>

- 音声信号を遅らせる(ただし信号のピッチは変えない)  
Ordinary, speed reduction changes pitch. By signal processing, speed reduction while preserving pitch is possible.
- 携帯電話の場合はリアルタイム処理  
For mobile phone, the signal processing is done real-time.

小テスト / Mini Test 次回開始まで

以下の全てに100字以内程度で解答せよ / Answer all questions within 50 words

- 耳介の役割について説明せよ / Explain role of auricle
- 外耳道の役割について説明せよ / Explain role of external auditory meatus
- ティンパノメトリーについて説明せよ / Explain Tympanometry
- 耳小骨筋反射について説明せよ / Explain Stapedial Reflex
- 内耳基底膜の働きについて説明せよ / Explain role of basilar membrane.
- 内耳有毛細胞の働きについて説明せよ / Explain role of hair cells on the basilar membrane.
- 耳音響放射について説明せよ / Explain otoacoustic emission
- フォルマントについて説明せよ / Explain formant
- ミッシングファンダメンタル現象について説明せよ / Explain missing fundamental phenomenon
- 無層音階について説明せよ / Explain shepard tone
- 低周波音の音源定位の方法について説明せよ / Explain localization by low frequency sound.
- 高周波音の音源定位の方法について説明せよ / Explain localization of vertical sound position.
- 上下方向の音源定位について説明せよ / Explain localization of vertical sound position.
- 頭部伝達関数について説明せよ / Explain head related transfer function
- パラメトリックスピーカについて説明せよ / Explain parametric speaker
- マダーク効果について説明せよ / Explain Madark effect.
- 人工内耳について説明せよ / Explain artificial inner ear.
- エコーロケーションについて説明せよ / Explain echolocation