

# 生体情報工学 2025

Biological Information Engineering 2025

生産システム分野 生体医工学  
Production Systems, Biomedical Engineering

高橋 淳子  
Junko Takahashi

第1回	はじめに / Introduction	生体とは、生体の情報とは / What is a living body information?	4月16日	
第2回	生体情報の基礎(I) / Biological information Primer (I)	生体情報の種類と検出について / Types of biological information and detection	4月23日	
第3回	生体情報の基礎(II) / Biological information Primer (II)	センサ、トランスデューサーの原理と構造 / Sensors and transducers	4月30日	
第4回	生体情報計測(I) / Biological information measurement (I)	脳・神経・シナプス / Brain / nerve / synapse	5月7日	On Demand
第5回	生体情報計測(II) / Biological information measurement (II)	運動制御 / Motion control	5月14日	
第6回	生体情報計測(III) / Biological information measurement (III)	視覚情報処理 / Visual information processing	5月21日	
第7回	<b>生体情報計測(IV) / Biological information measurement (IV)</b>	<b>聴覚の生理学,心理音響 / Auditory physiology, psychoacoustics</b>	<b>5月28日</b>	
第8回	生体情報計測(V) / Biological information measurement (V)	体性感覚の情報処理 / Information processing of somatosensory	6月4日	
第9回	生体情報の網羅的解析-概要 / Cyclopedic studies in biological information – overview	生体情報の網羅的解析-概要 / Cyclopedic studies in biological information	6月11日	
第10回	生体情報の網羅的解析 - トランスクリプトミクス / Cyclopedic studies in biological information – transcriptomics	トランスクリプトミクス / Transcriptomics	6月18日	
第11回	生体情報の網羅的解析 - プロテオミクス,メタボロミクス / Cyclopedic studies in biological information - proteomics, metabolomics	プロテオミクス,メタボロミクス / Proteomics, metabolomics	6月25日	
第12回	生体情報の網羅的解析 - 次世代シーケンス / Cyclopedic studies in biological information - next-generation sequencing	次世代シーケンス / Next-generation sequencing	7月2日	
第13回	生体情報の網羅的解析 - データ解析 / Cyclopedic studies in biological information - data analysis	データ解析 / Data analysis	7月9日	
第14回	まとめ / Summary		7月16日	

***Part 1. Structure of ear***

***Part 2. Sound signal transduction***

***Part 3. Equilibrium***

***Part 4. Cochlear Implant***

References

<https://open.oregonstate.education/aandp/chapter/15-3-hearing/>

# ***Part 1. Structure of ear***

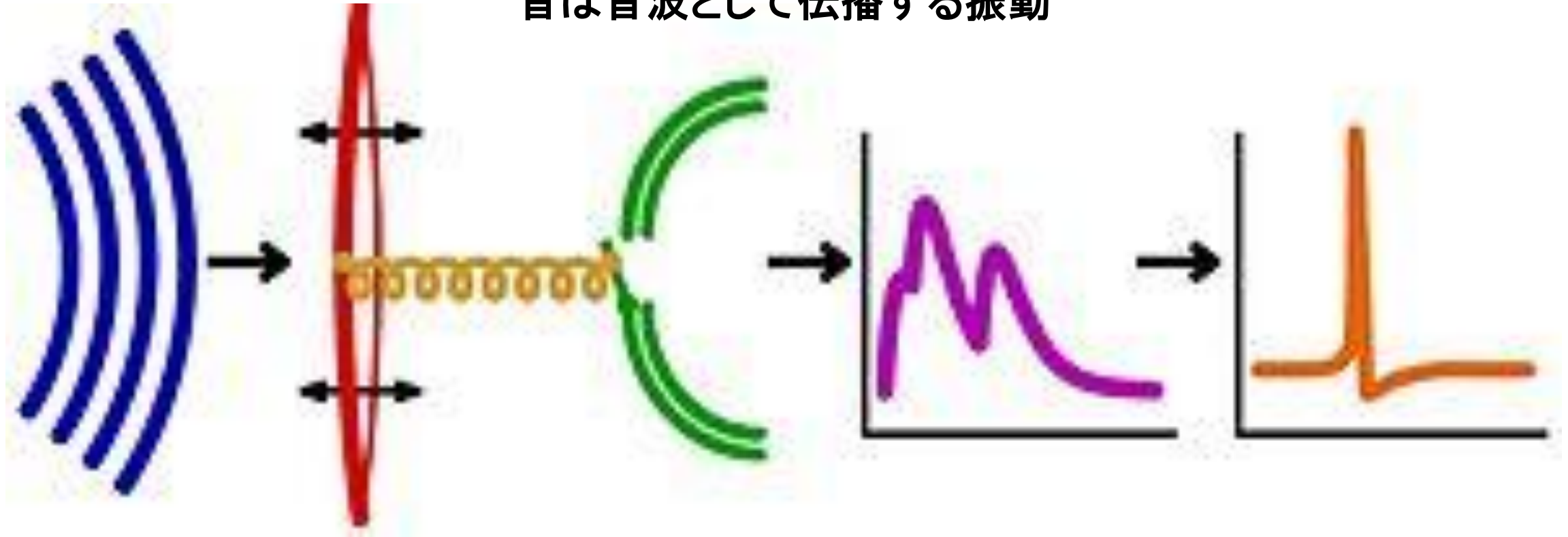
## **耳の構造**

# The pathway of the sound waves in the ear

## 耳への音波の伝わり方

Sound is a vibration that propagates as an acoustic wave.

音は音波として伝播する振動



Sound wave

音波

Eardrum

鼓膜

Cochlear

蝸牛

Hair cell

有毛細胞

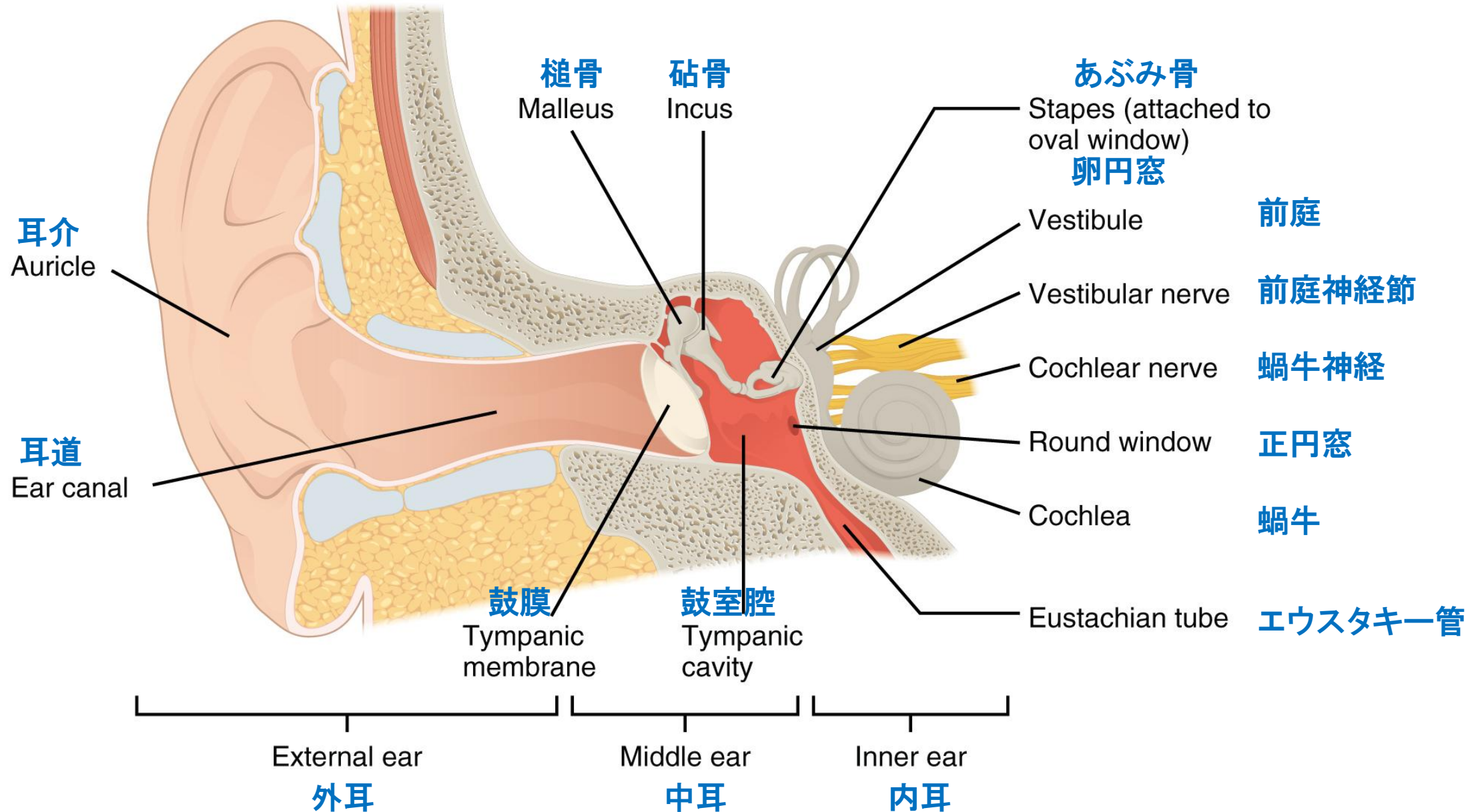
Frequency spectrum

周波数スペクトル

Nerve cell firing

神経細胞の興奮

# Structures of the Ear 耳の構造

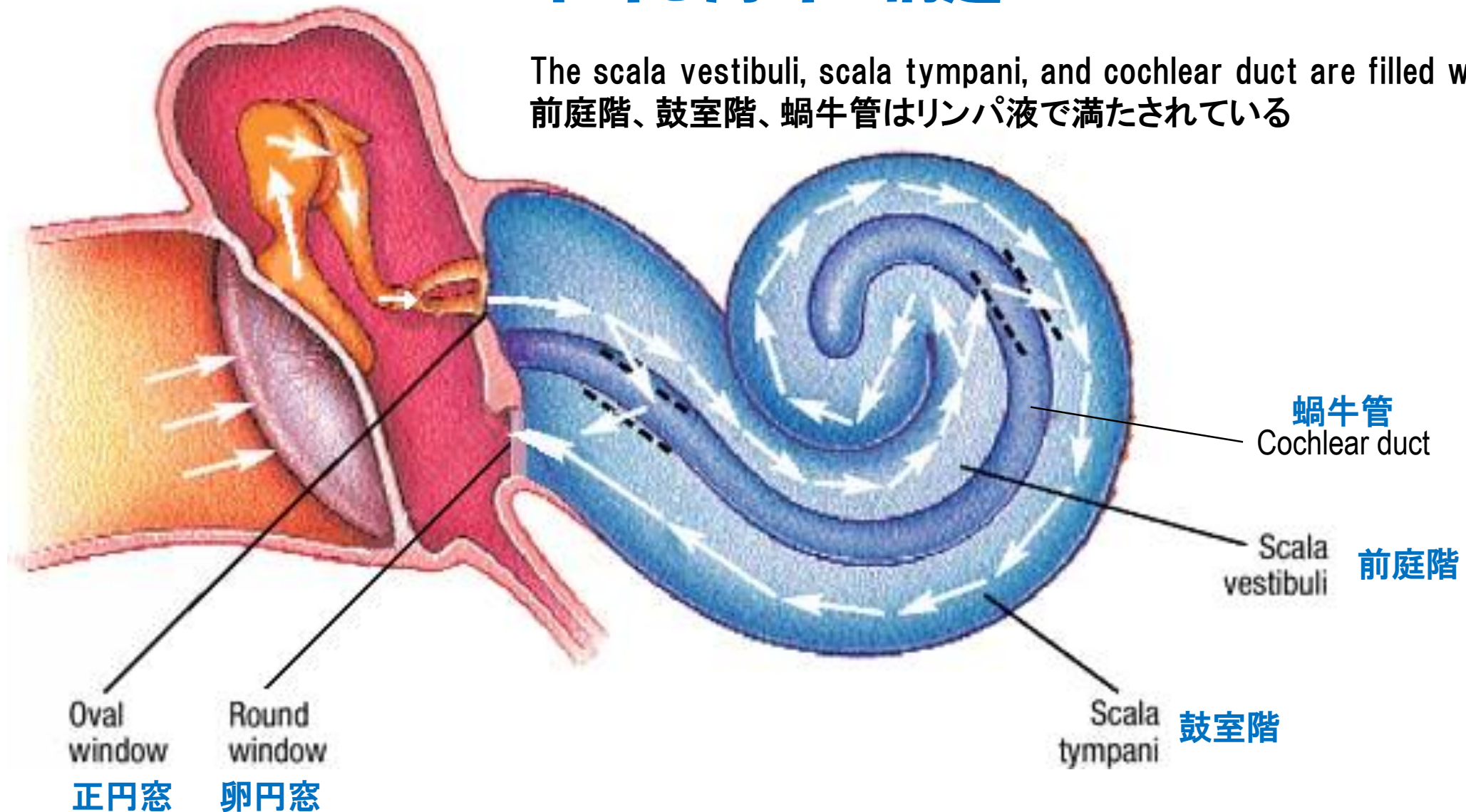




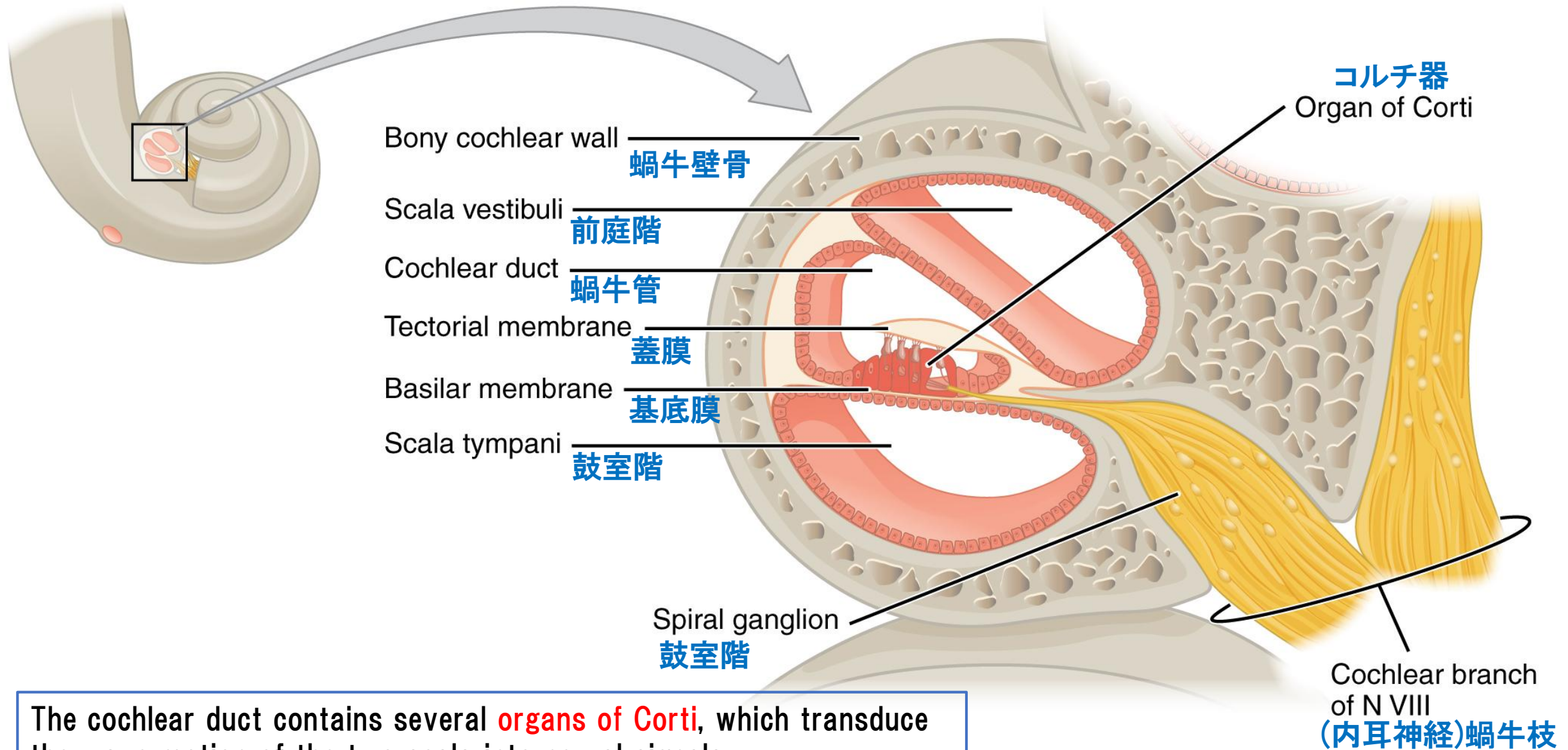
# Structures of the middle and inner ear

## 中耳と内耳の構造

The scala vestibuli, scala tympani, and cochlear duct are filled with lymph  
前庭階、鼓室階、蝸牛管はリンパ液で満たされている



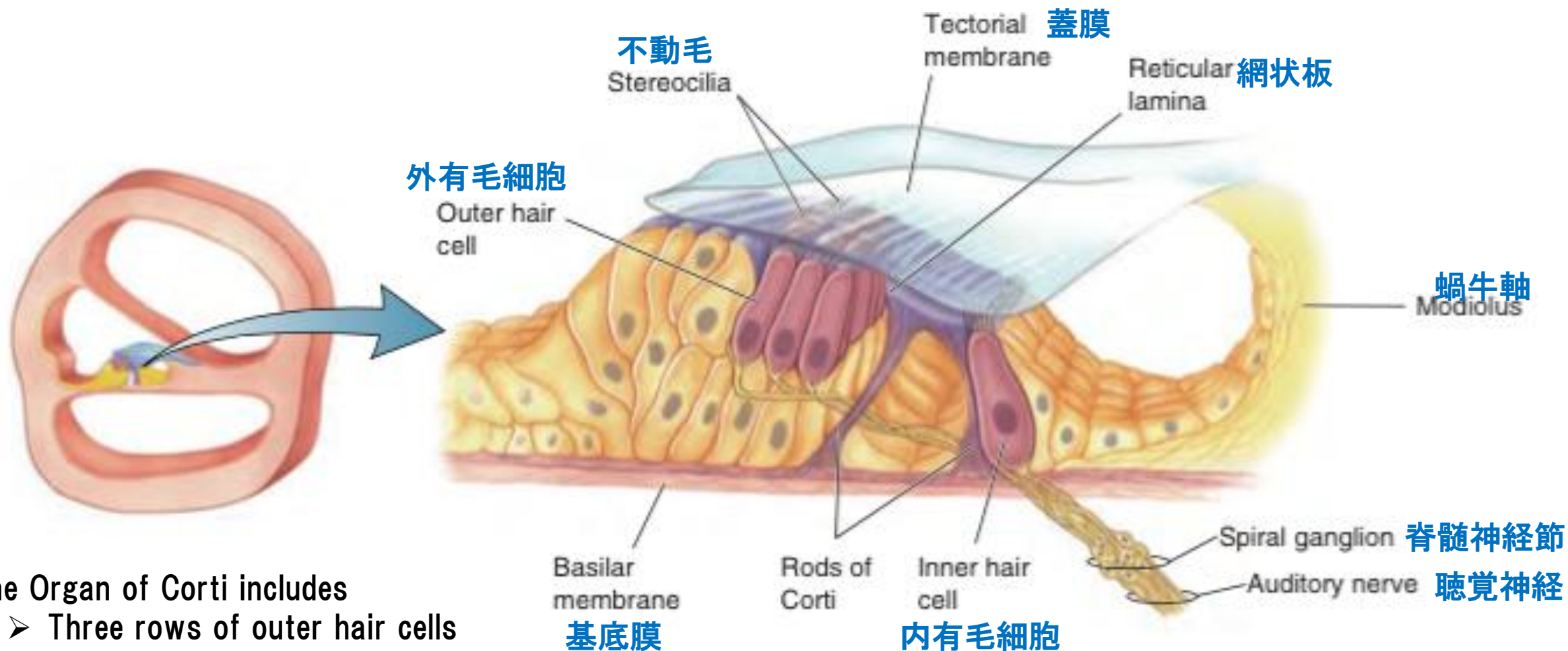
# Cross Section of the Cochlea 蝸牛の断面図



The cochlear duct contains several **organs of Corti**, which transduce the wave motion of the two scala into neural signals  
蝸牛管には、波動を神経信号に変換する**コルチ器**がある



# Organ of Corti コルチ器



The Organ of Corti includes

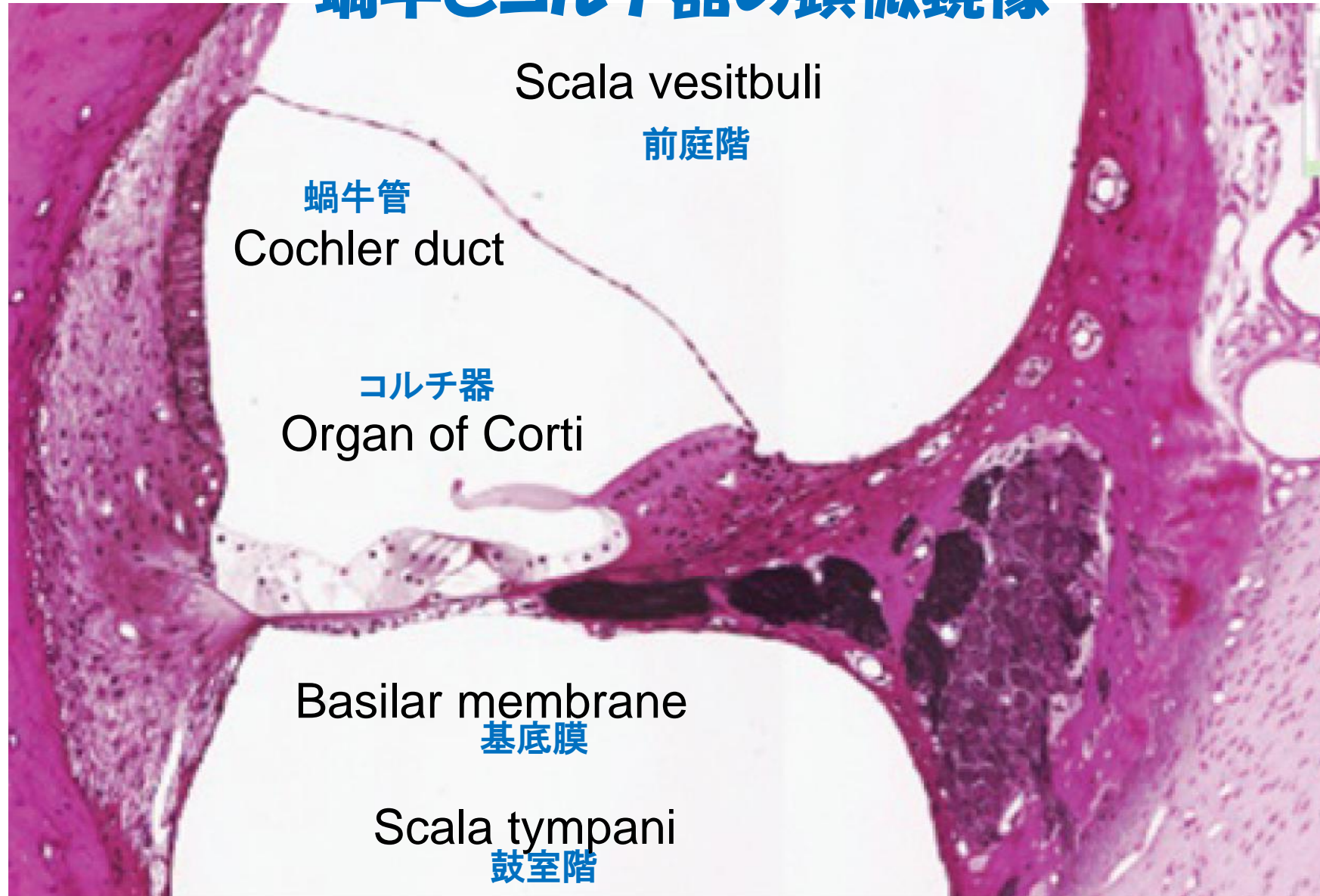
- Three rows of outer hair cells
- One row of inner hair cells
- Tectorial membrane

Sound waves stimulate hair cells, which convert the vibrations into electrical signals.

音波による振動が有毛細胞を刺激することで電気信号へと変換される

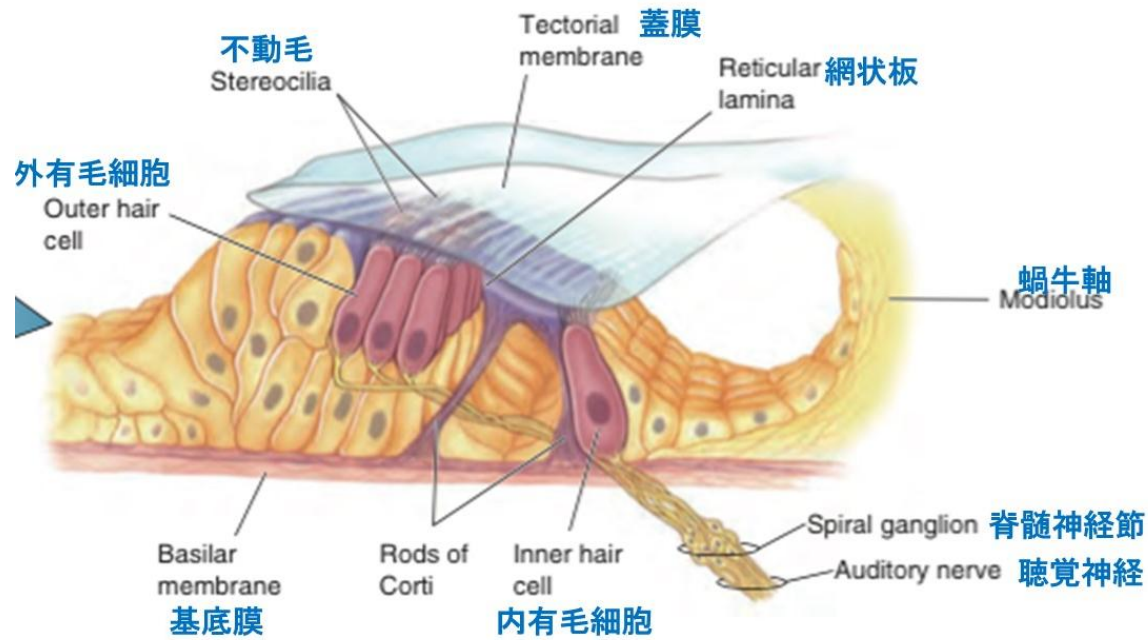
# Microscopic image of Cochlea and Organ of Corti

## 蝸牛とコルチ器の顕微鏡像

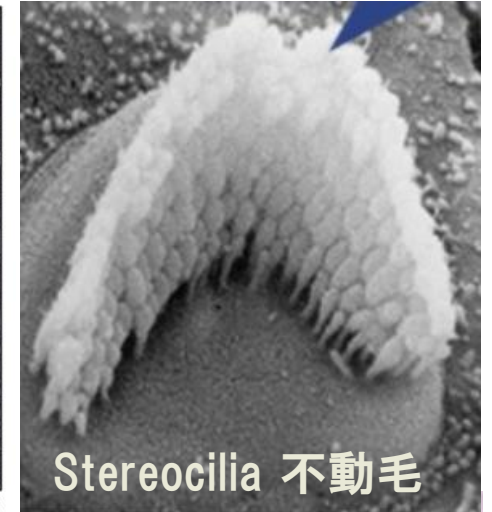
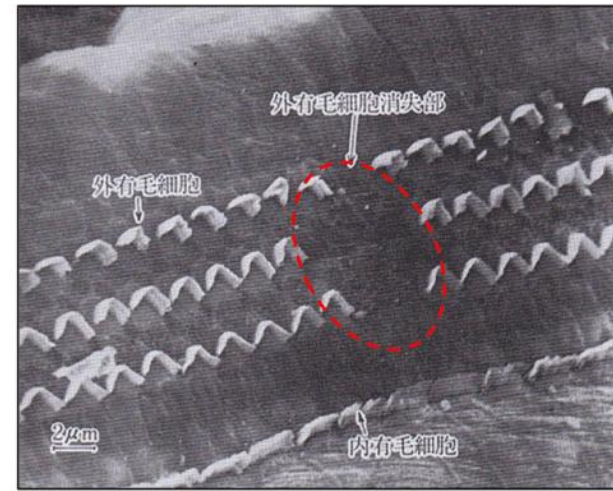




# Microscopic image of Organ of Corti コルチ器



(写真①) 衝撃音で外有毛細胞が島状に限局消失



(出典:「聴こえの臨床」中井義明著 新興医学出版社)

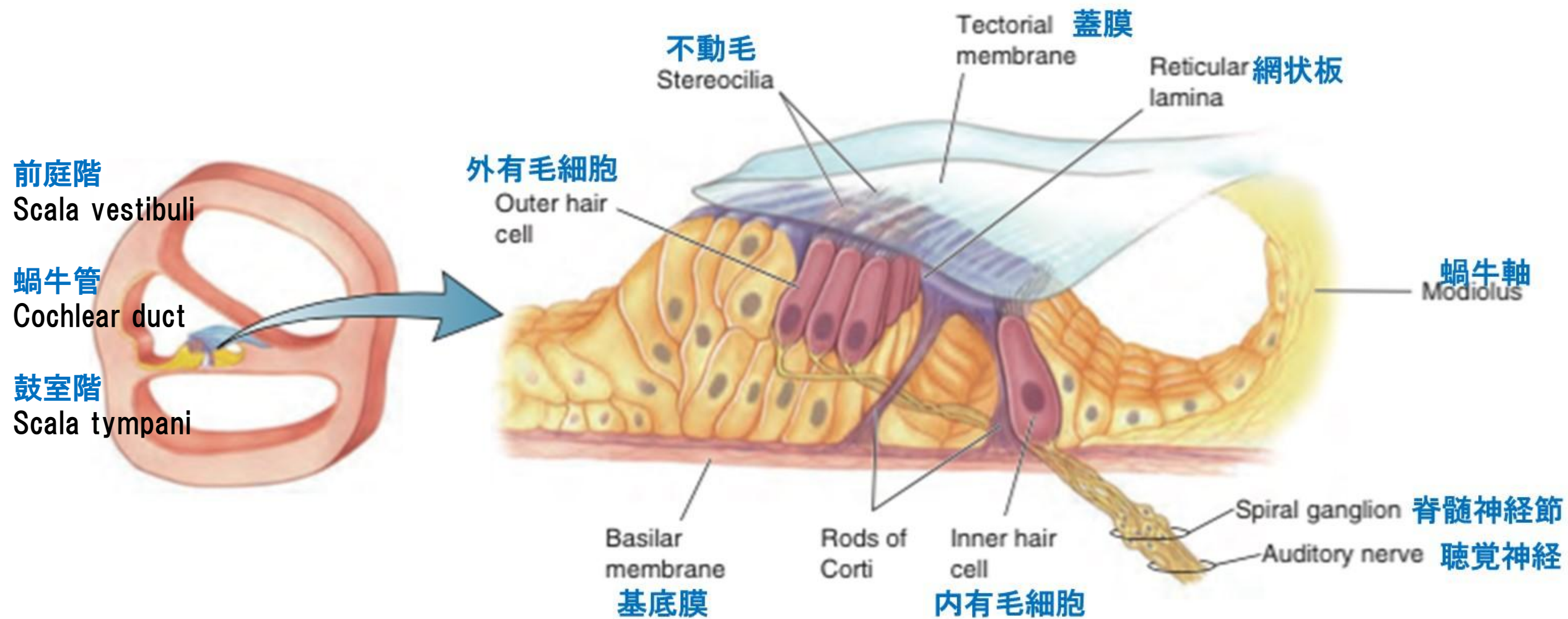


[https://www.nature.com/articles/s41598-020-75873-9?utm\\_source=other&utm\\_medium=other&utm\\_content=full&utm\\_campaign=JRCV\\_1\\_LW01\\_CN\\_SCIRP\\_article\\_paid\\_AVID](https://www.nature.com/articles/s41598-020-75873-9?utm_source=other&utm_medium=other&utm_content=full&utm_campaign=JRCV_1_LW01_CN_SCIRP_article_paid_AVID)

<https://p-tor-force.com/study11ear/>, <https://gooday.nikkei.co.jp/atcl/report/22/101400041/101700001/?P=2>

# ***Part 2. Sound signal transduction***

## **音響信号伝達**



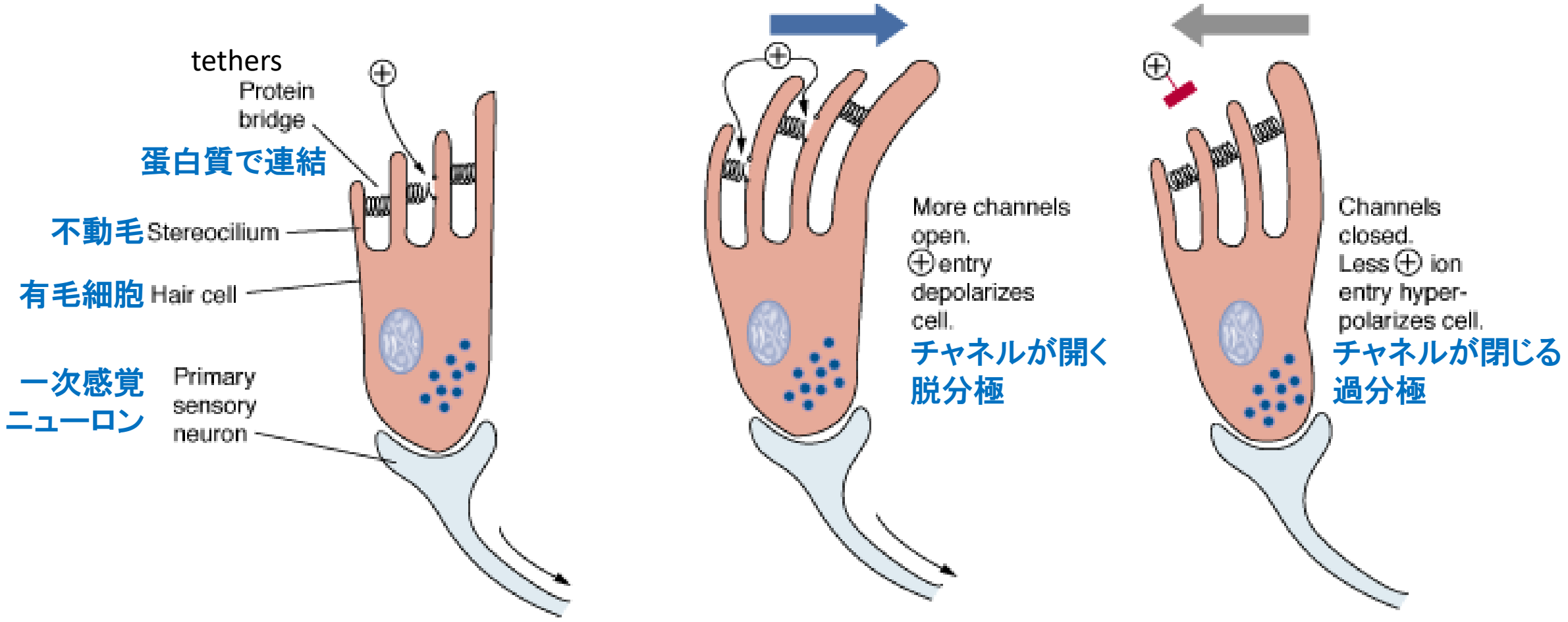


# Signal Transduction of hair cell 有毛細胞のシグナル伝達

10% of ion channels open  
At rest 休止期

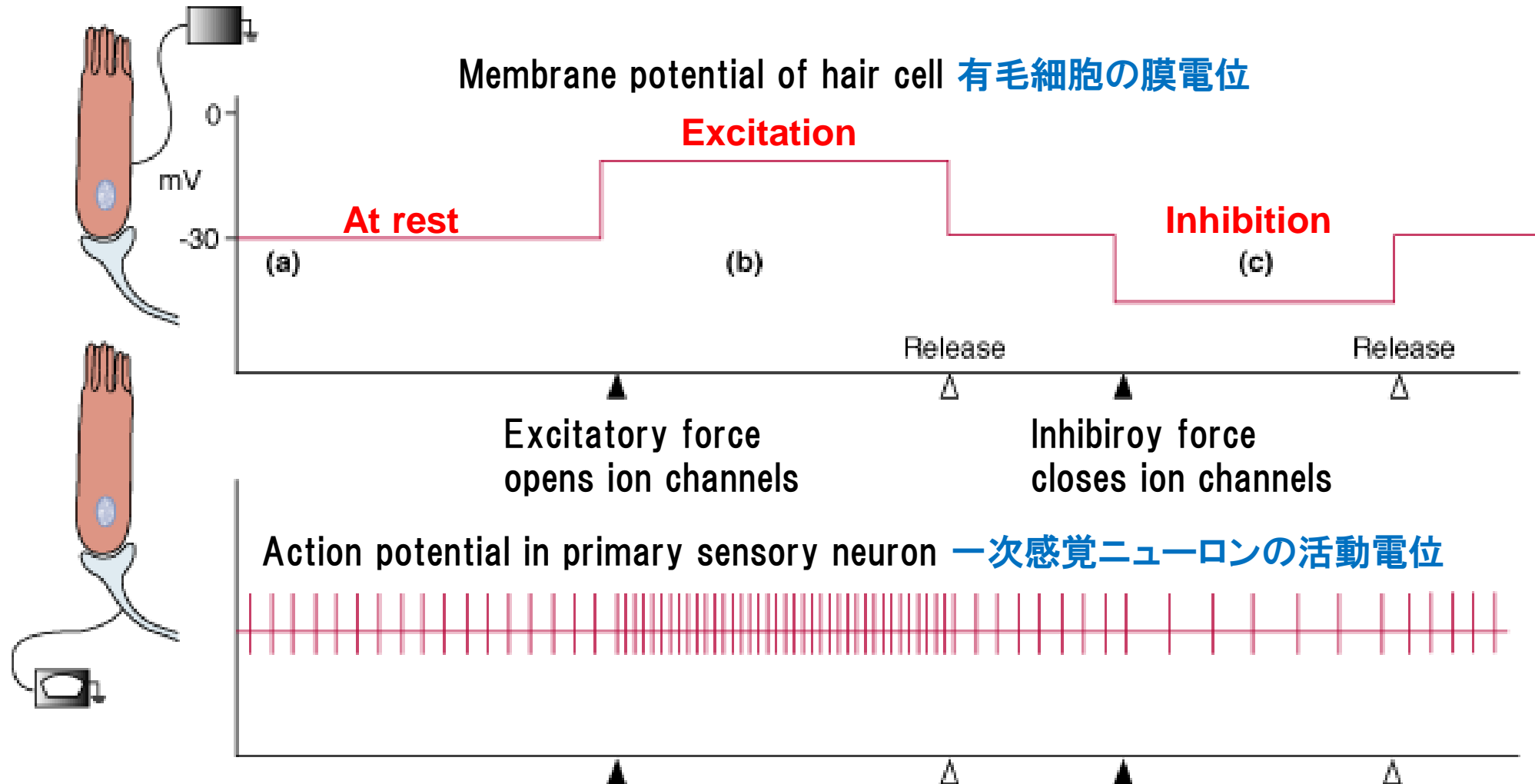
More ion channels open:  
Excitation 興奮

All channels closed:  
Inhibition 抑制



Air waves ⇒ mechanical vibrations ⇒ fluid waves ⇒ chemical signals ⇒ action potentials  
空気の波動 機械的振動 流体の波動 化学信号 活動電位

# Action potential of hair cell 有毛細胞の活動電位

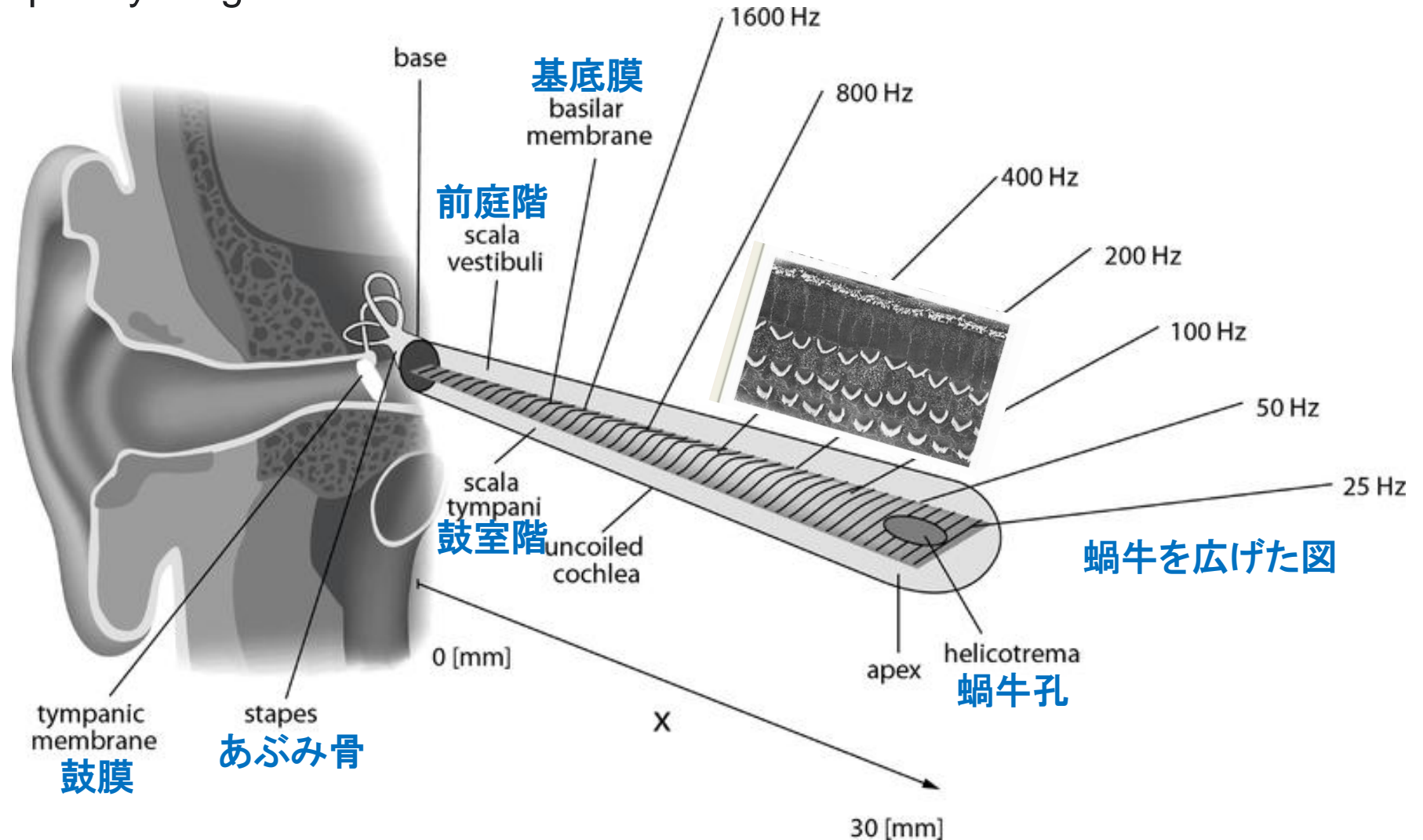


# Auditory processing – pitch of sound

## 聴覚処理 – 音の高低

Basilar Tuning 基底チューニング

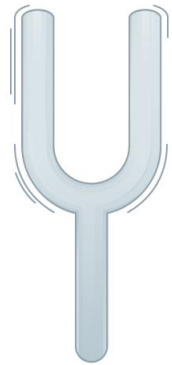
Distinguish Audible frequency range from 20 - to 20000 hertz



# Transmission of Sound Waves to Cochlea

## 蝸牛への音波の伝達

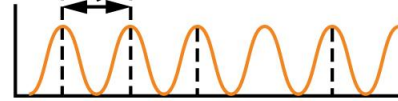
音波は高低の圧力が交互に現れる



- ① Sound wave represents alternating areas of high and low pressure.



Wavelength



Frequency of sound wave measured in Hz (cycles per second)

音の周波数 (単位: Hz)

圧力が特定周波数の最大振動点で蝸牛管の膜を曲げ、基底膜の有毛細胞が振動

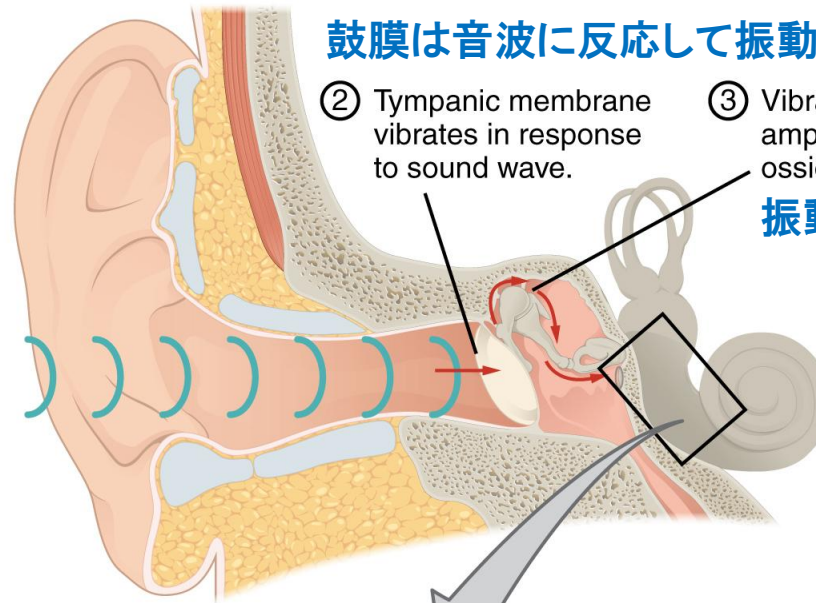
- ⑤ Pressure bends the membrane of the cochlear duct at a point of maximum vibration for a given frequency, causing hair cells in the basilar membrane to vibrate.

鼓膜は音波に反応して振動する

- ② Tympanic membrane vibrates in response to sound wave.

- ③ Vibrations are amplified across ossicles.

振動は小骨全体で増幅される

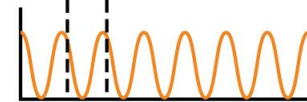


卵円窓の振動により、前庭の流体に定在波が発生

- ④ Vibrations against oval window set up standing wave in fluid of vestibuli.

Organ of Corti  
Basilar membrane

Scala vestibuli 前庭階  
Cochlear duct 蝸牛管  
Scala tympani 鼓室階

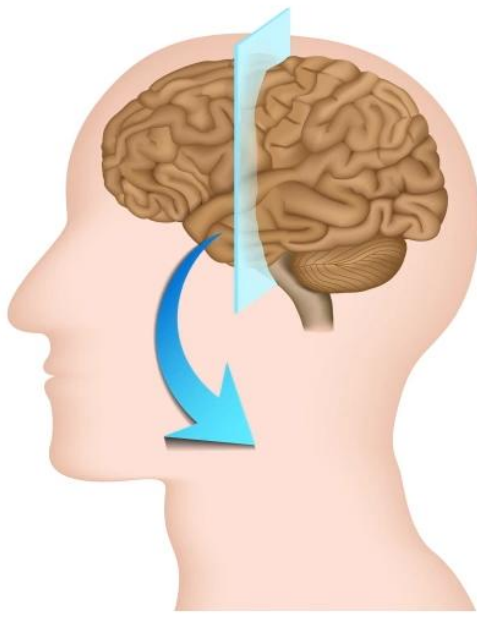


Frequency of standing wave is the same as sound wave

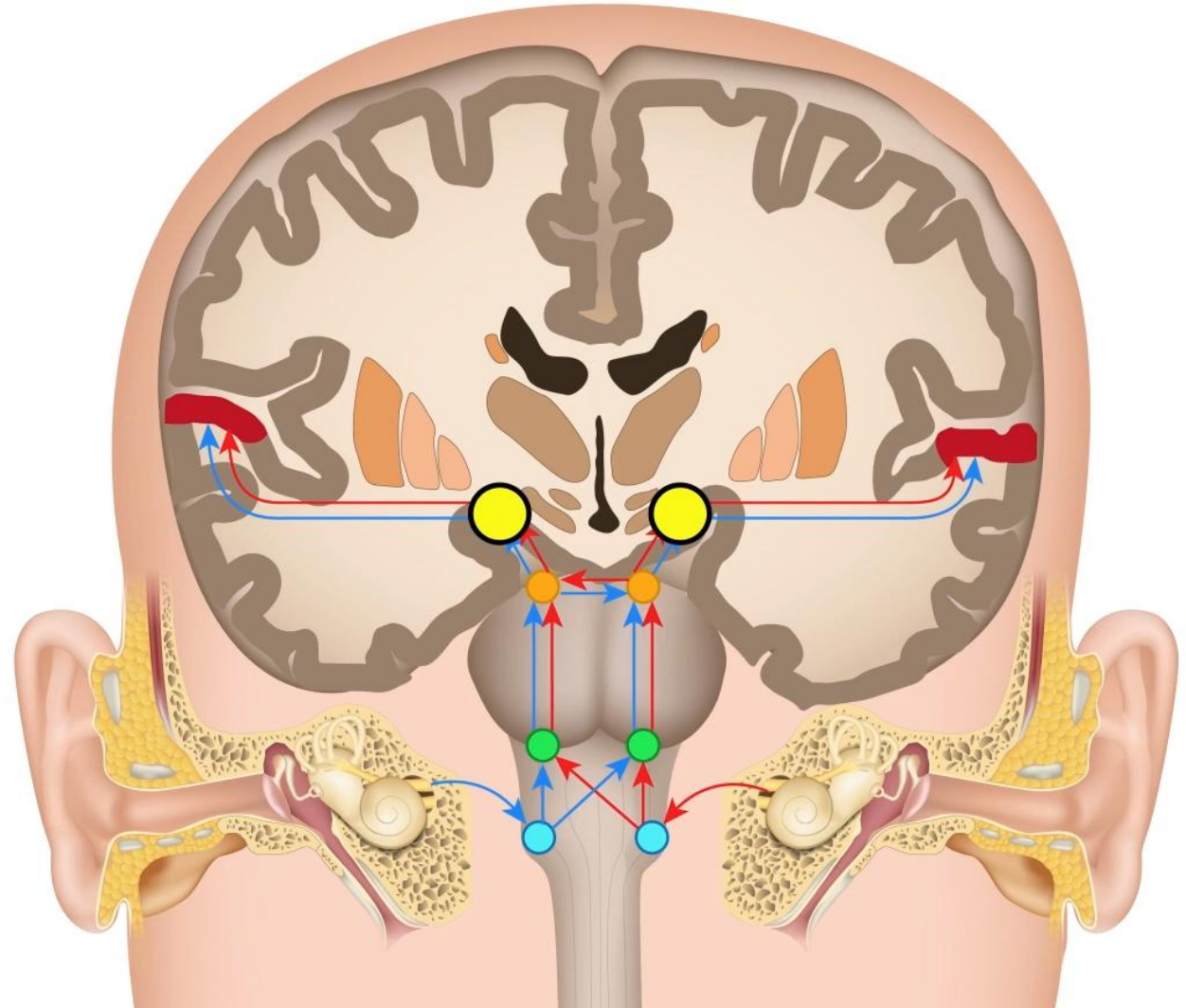
定在波の周波数は音波と同じ



# The Auditory Pathway



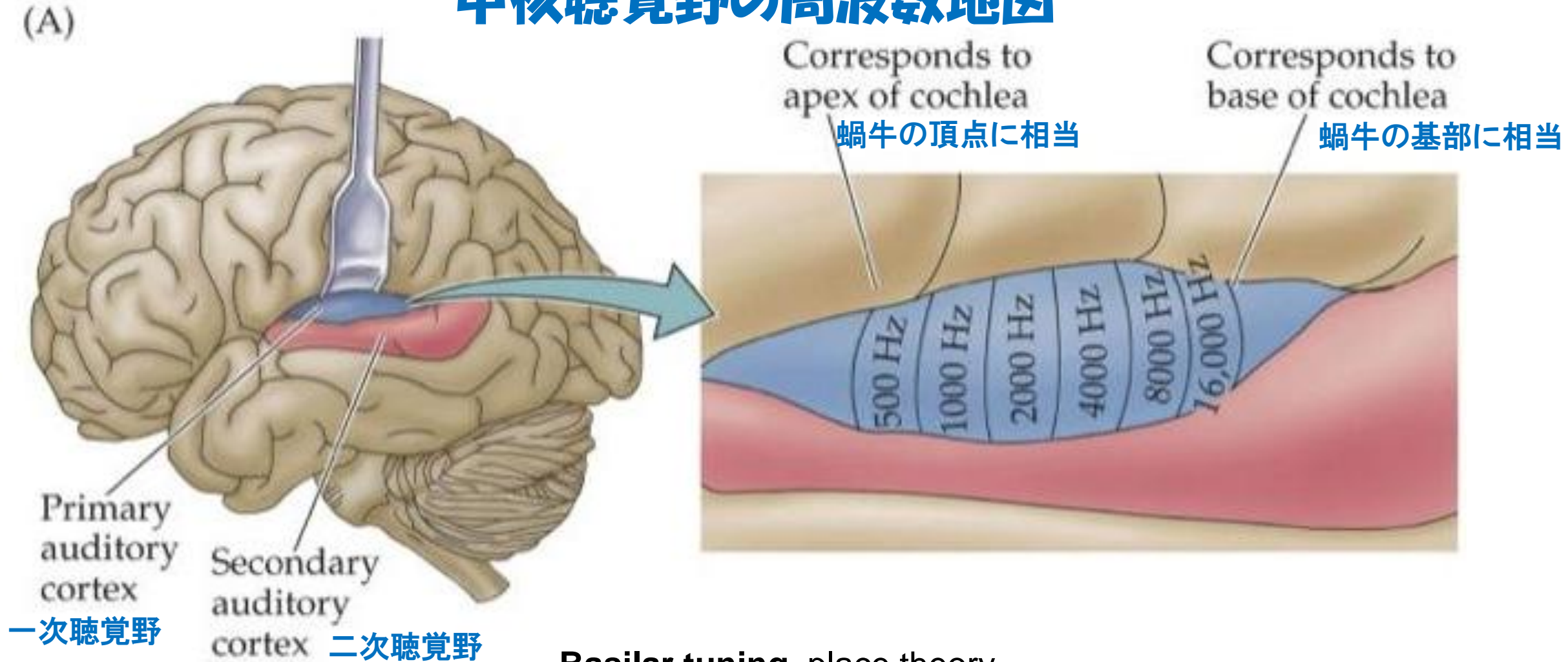
- medial geniculate nuclei 内側膝状核
- inferior colliculi 下丘
- superior olives 上オリーブ
- cochlear nuclei 蝸牛核





# The tonotopic mapping of core auditory cortex

## 中核聴覚野の周波数地図

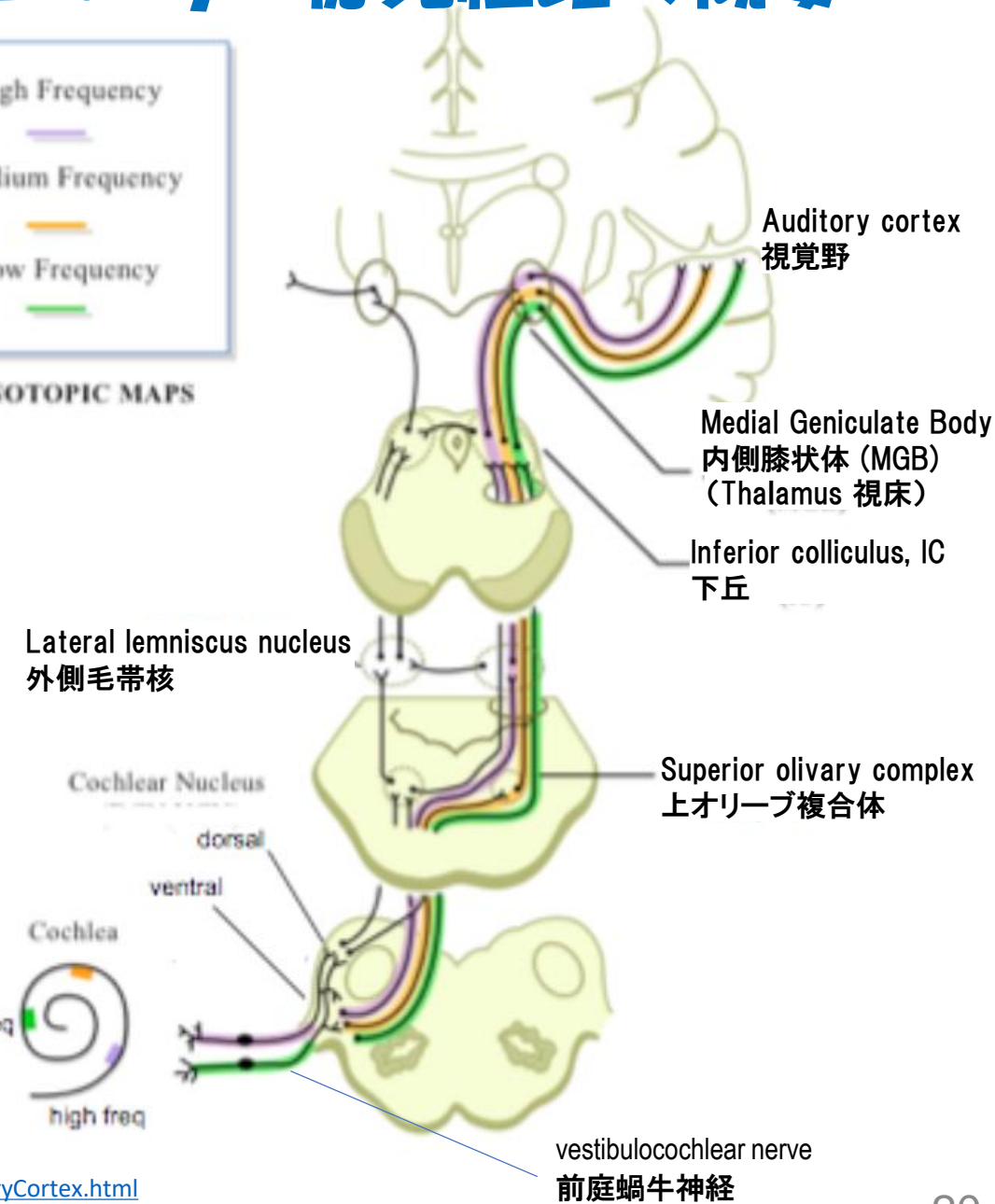
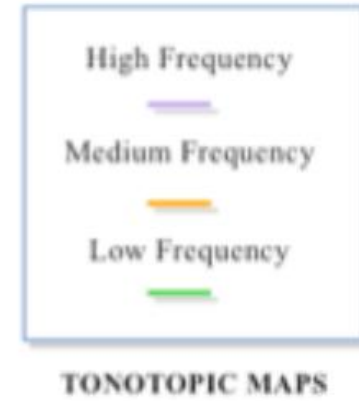
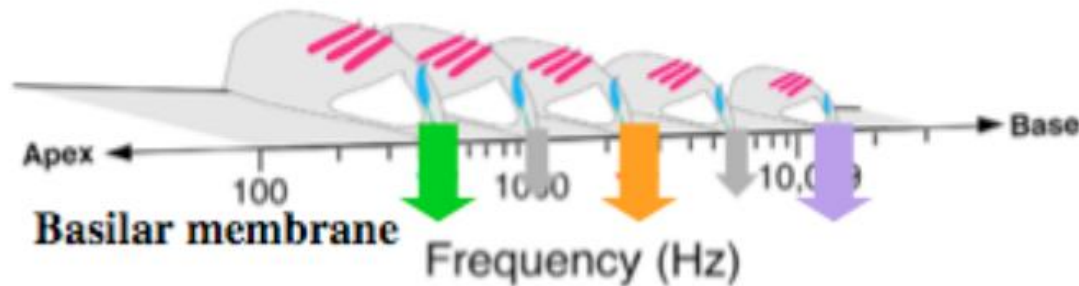
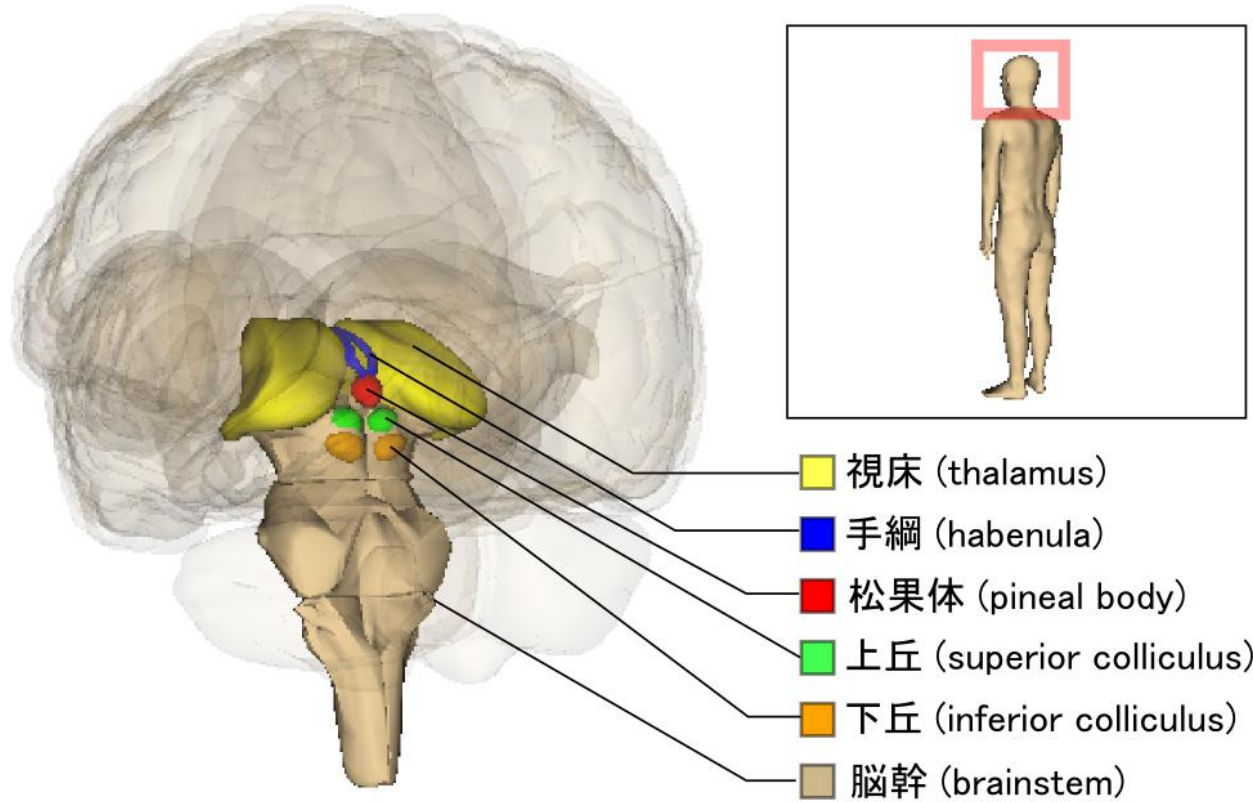


**Basilar tuning**, place theory

Different frequencies are processed in different parts of the auditory cortex

異なる周波数が聴覚皮質の異なる部分で処理される

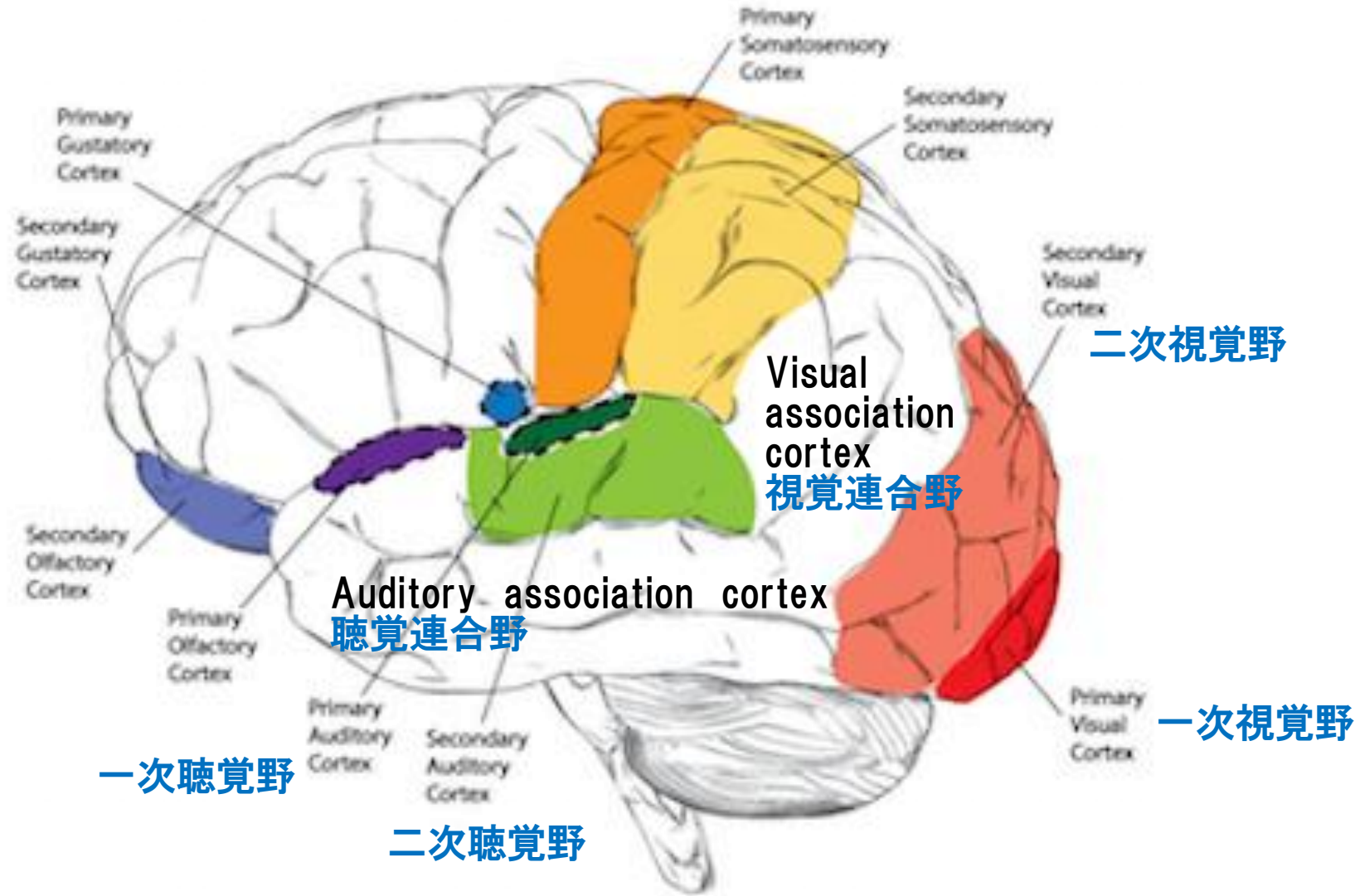
# The auditory pathway summary 聴覚経路の概要



<https://www2.tulane.edu/~h0Ward/BrLg/AuditoryCortex.html>

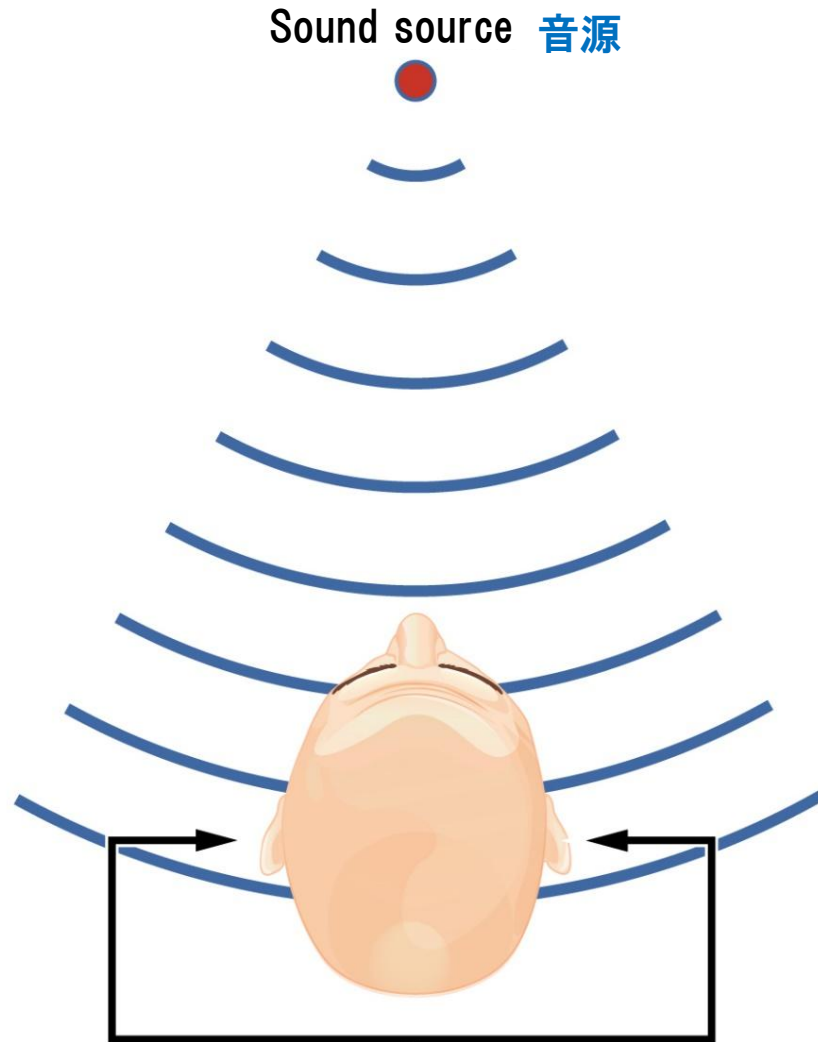
[https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/8/83/Brainstem\\_and\\_thalamus\\_ja\\_ja\\_135.png](https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/8/83/Brainstem_and_thalamus_ja_ja_135.png)

# Auditory cortex and visual cortex 聴覚野と視覚野



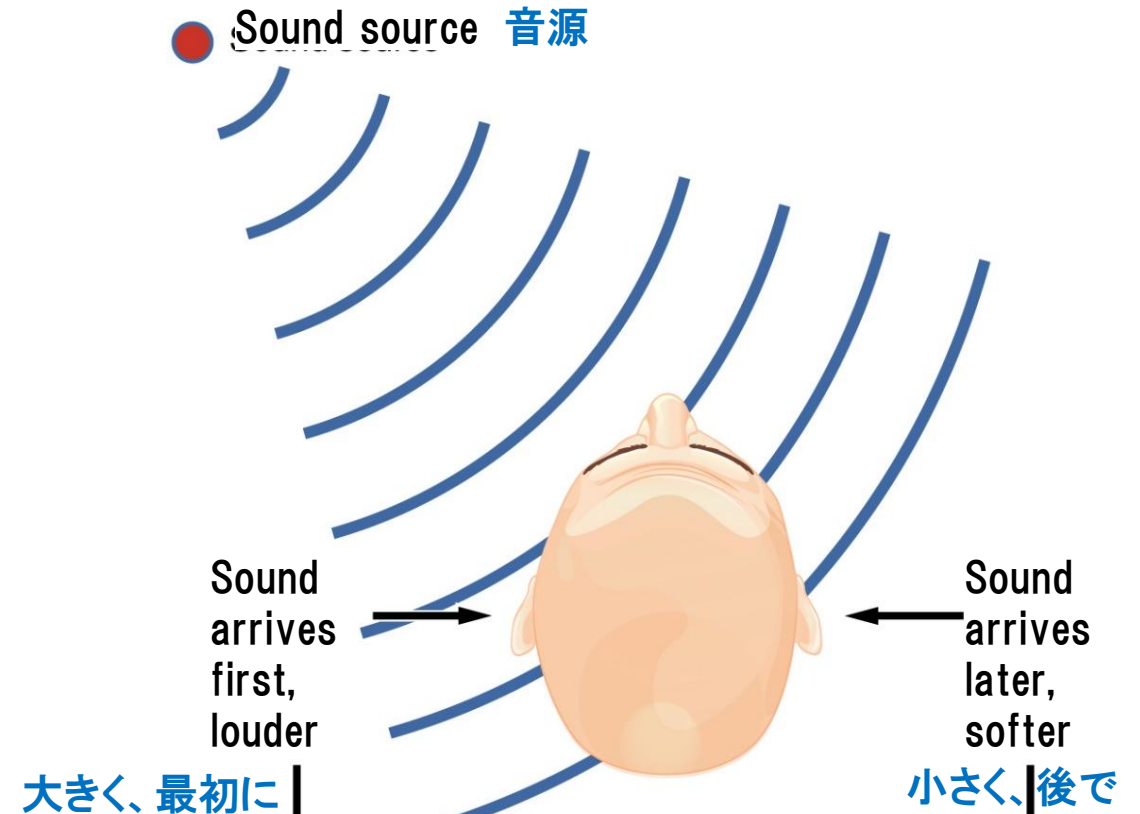


# Mechanisms of sound localization 音源の位置の特定



音波は同じ強さで同時に両耳に届く

Sound wave arrive at both ears at the same time with the same intensity



Sound arrives first, louder

大きく、最初に

Sound arrives later, softer

小さく、後で

両側の聴覚神経ニューロン間の接続により、それぞれの耳に届く音刺激のわずかな違いを比較する

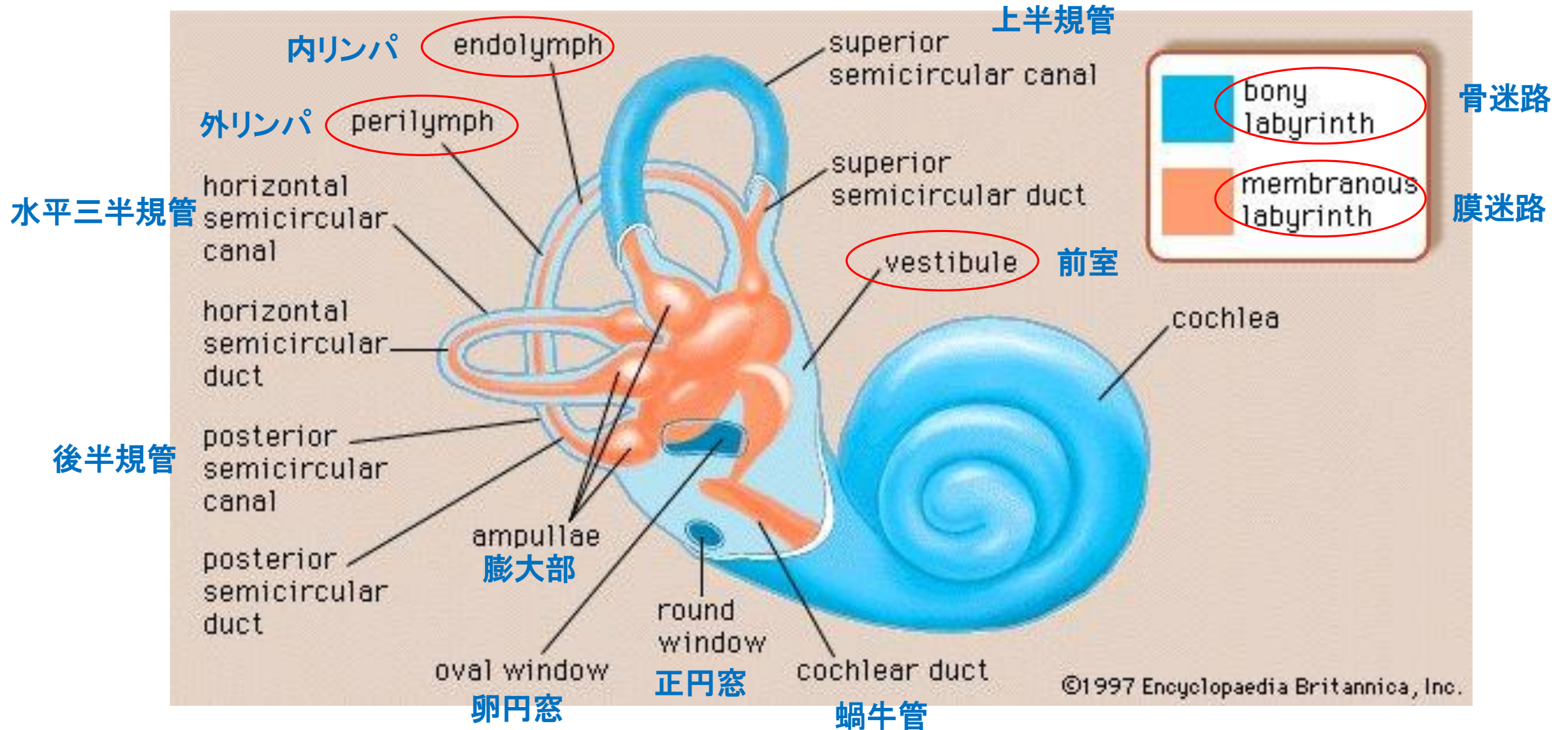
Connection between neurons on either side enable the comparison of very slight differences in the sound stimuli that arrive at each ear

# **Part 3. Equilibrium**

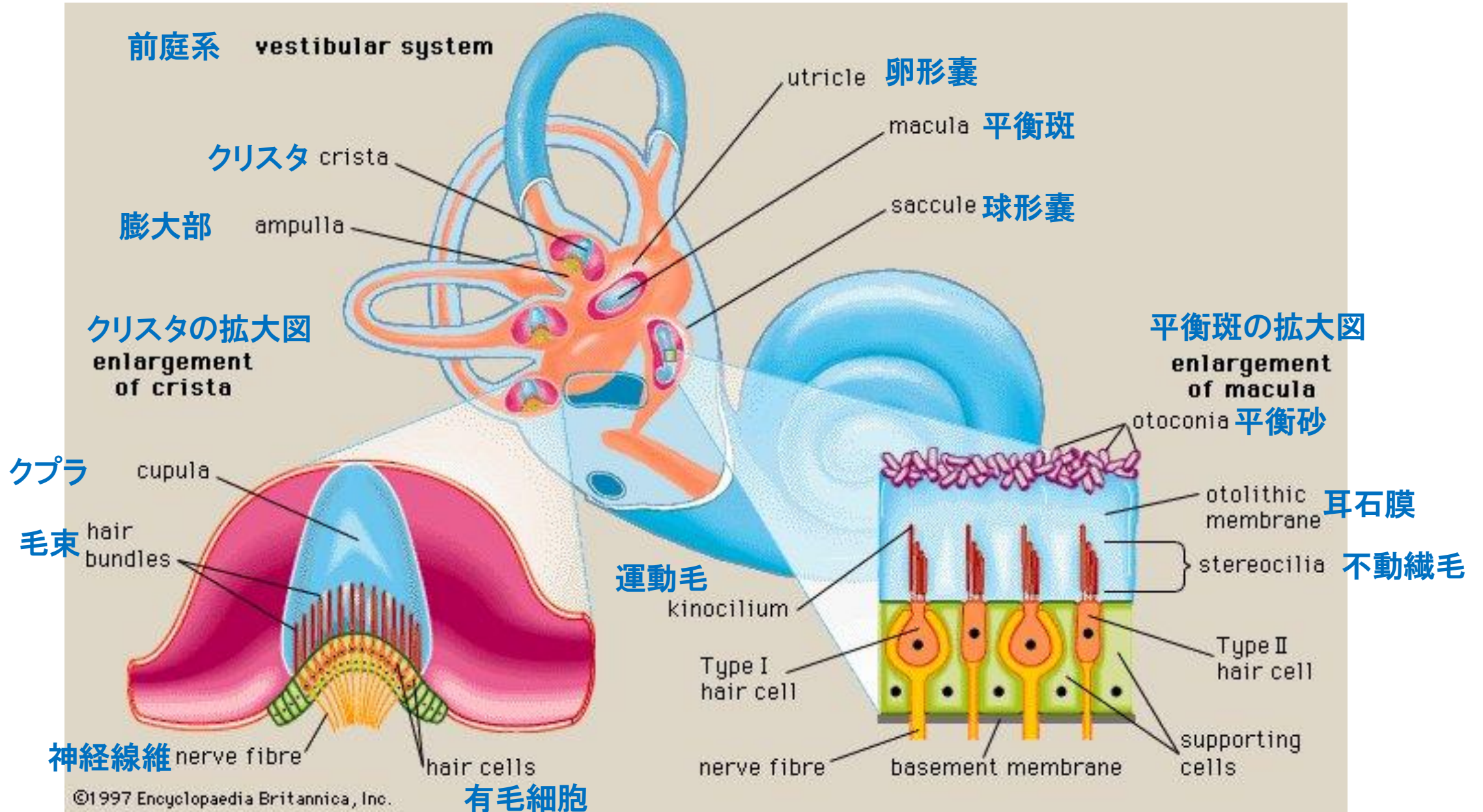
## **平衡感覺**



# Vestibular system 前庭系



# Vestibular system – over view





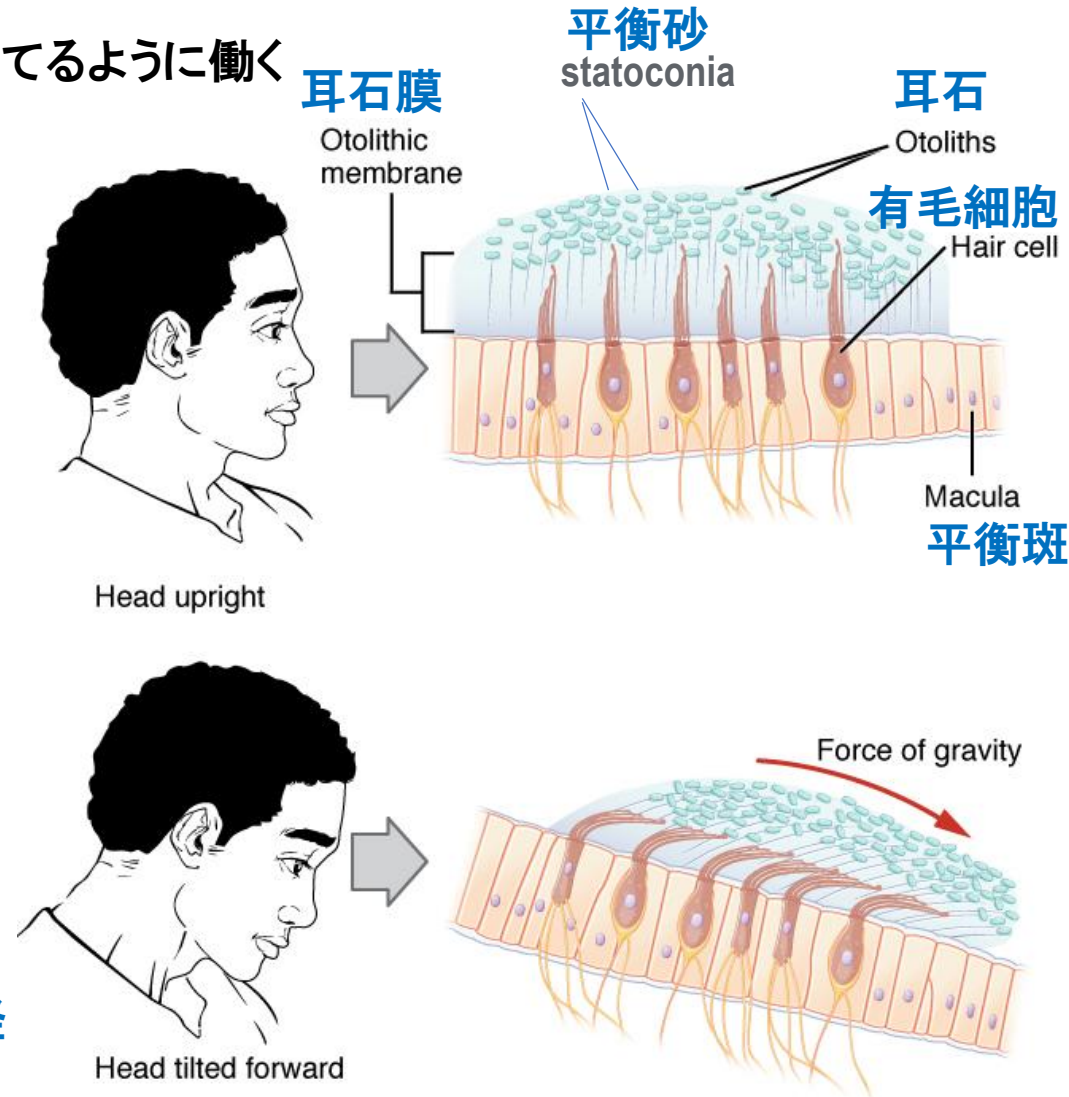
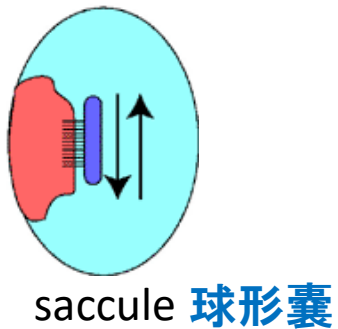
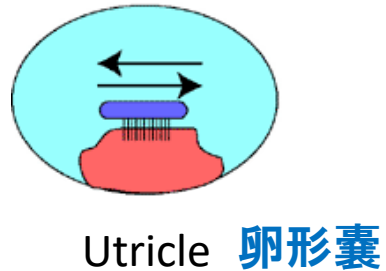
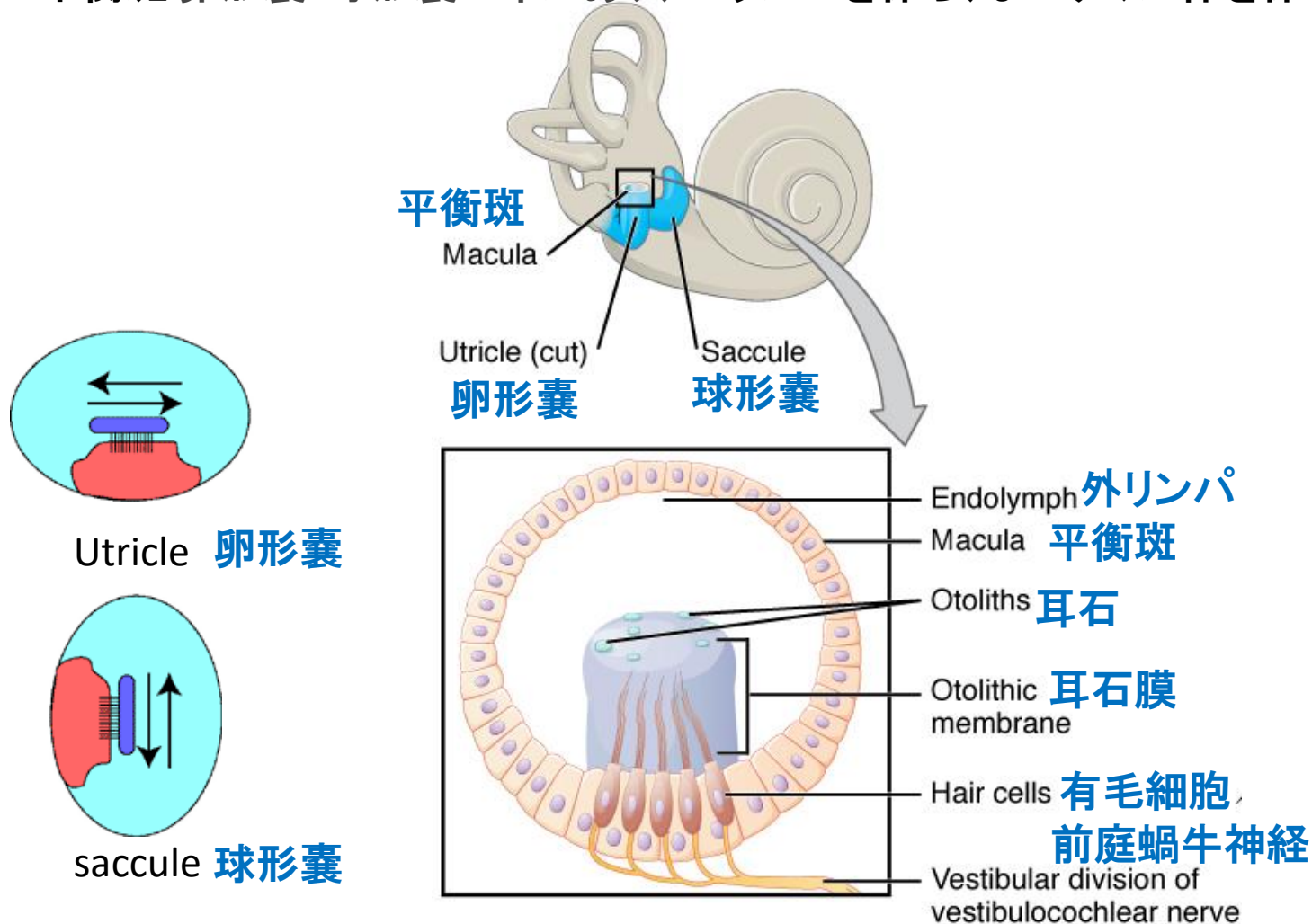
# Vestibule, gravity receptors 重力受容器である前庭

Utricle, saccule: otolith organ that is a receptor for linear acceleration

Macula: Located in the utricle and saccule, helps maintain balance and keep the body straight

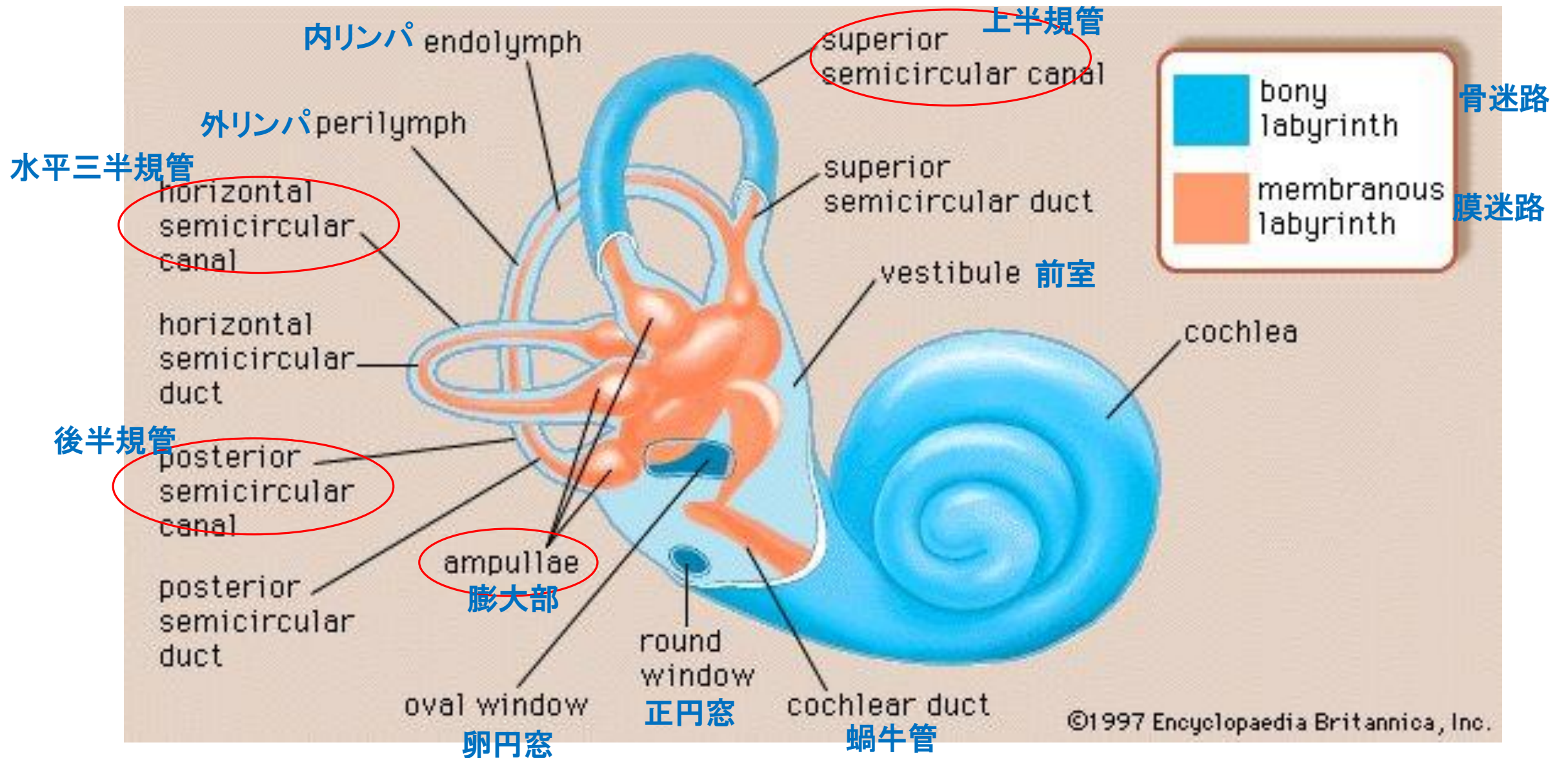
卵形嚢・球形嚢：直線加速度の受容器

平衡斑：卵形嚢・球形嚢の中にあり、バランスを保ち、まっすぐに体を保てるように働く



# Vestibular system – three semicircular canals

## 前庭系 – 三半規管

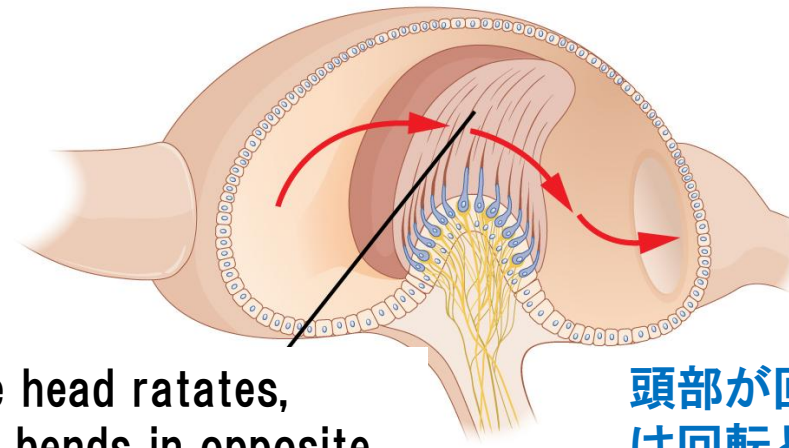
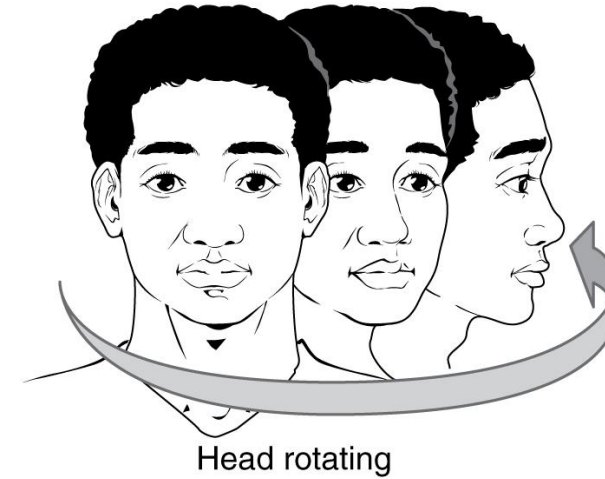
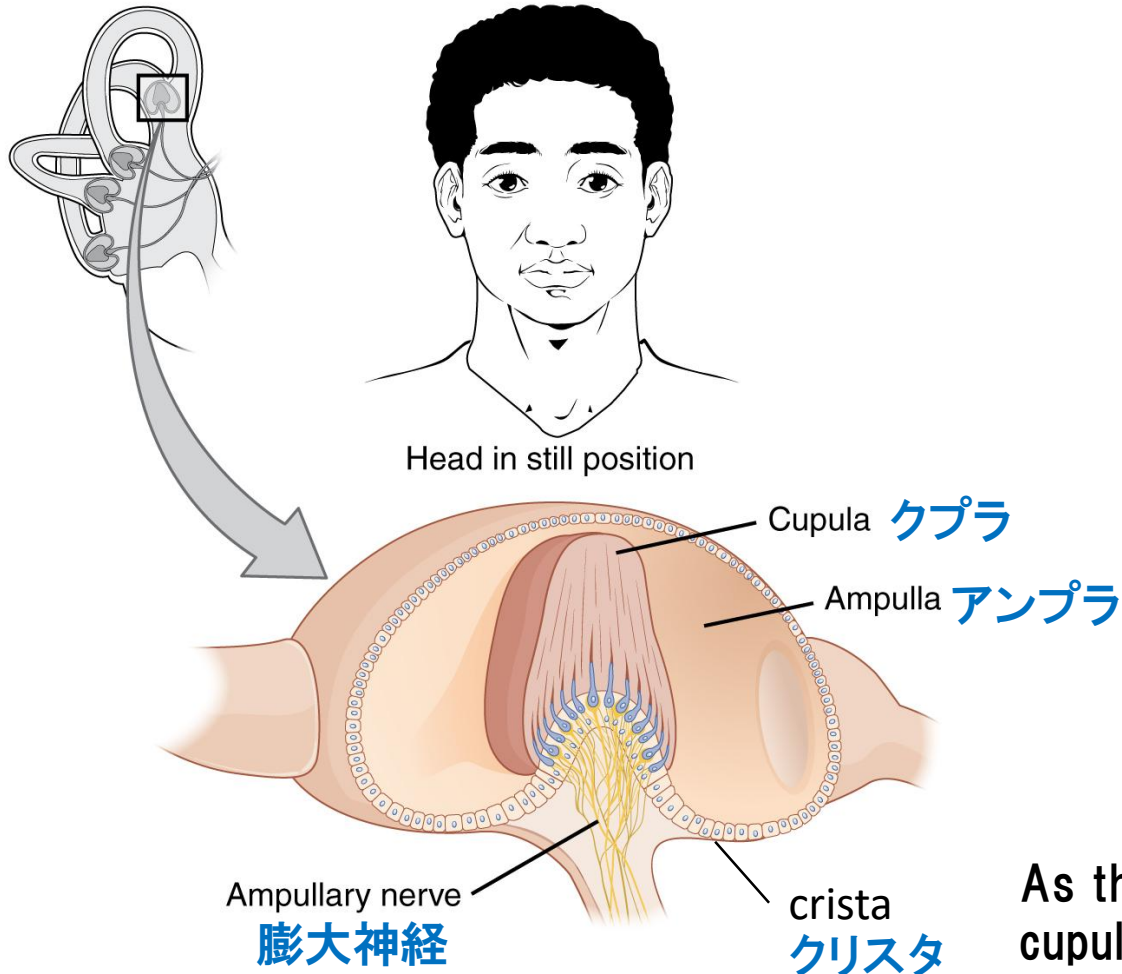




# Semicircular canals 半規管

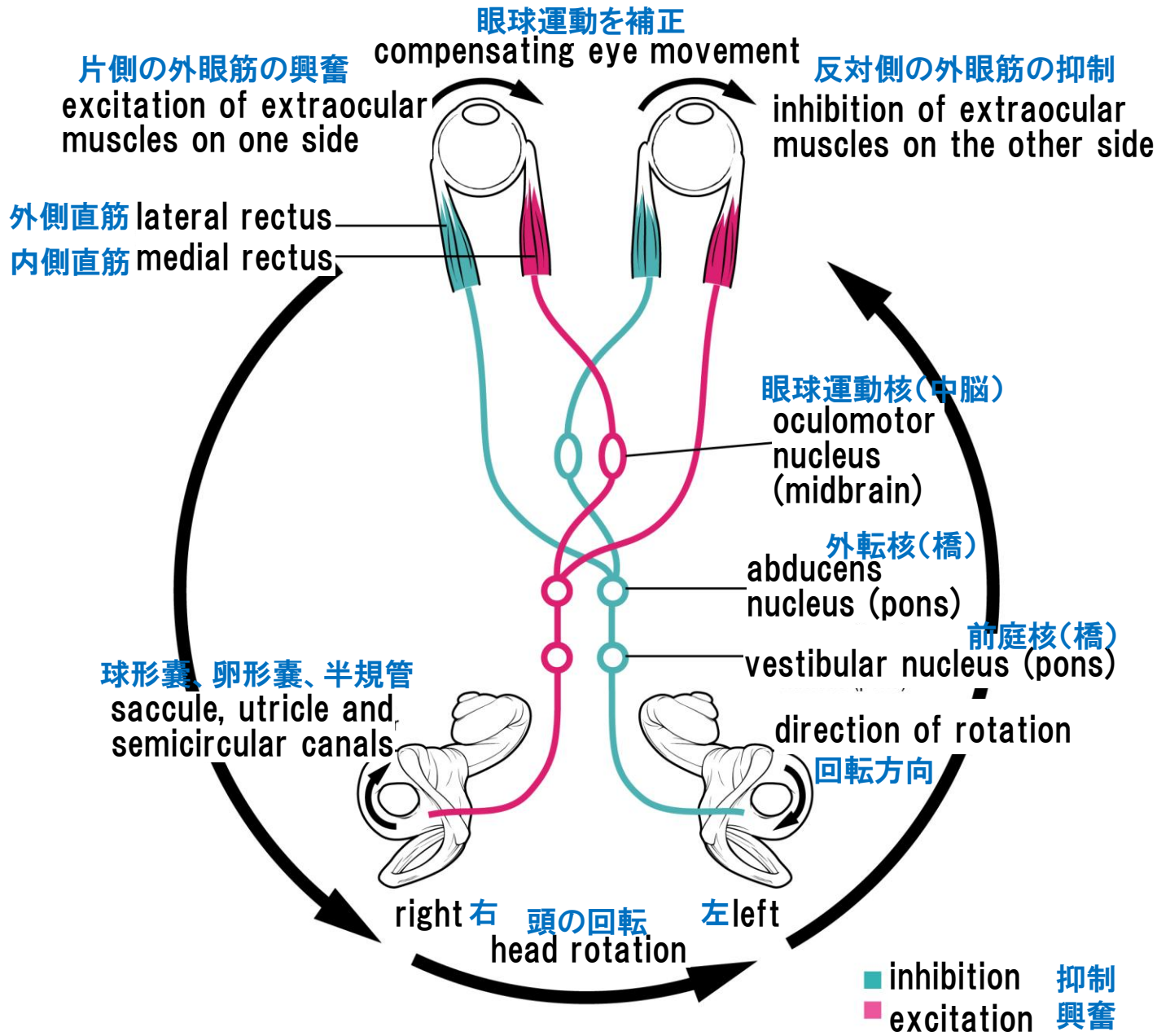
The semicircular canals are responsible for sensing the direction and speed of head rotation.

半規管は頭が回転するときの方向と速さを感知する





# Vestibulo-ocular Reflex 前庭眼球反射



## Vestibulo-ocular Reflex:

Connections between the vestibular system and the cranial nerves controlling eye movement keep the eyes centered on a visual stimulus, even though the head is moving.

During head movement, the eye muscles move the eyes in the opposite direction as the head movement, keeping the visual stimulus centered in the field of view.

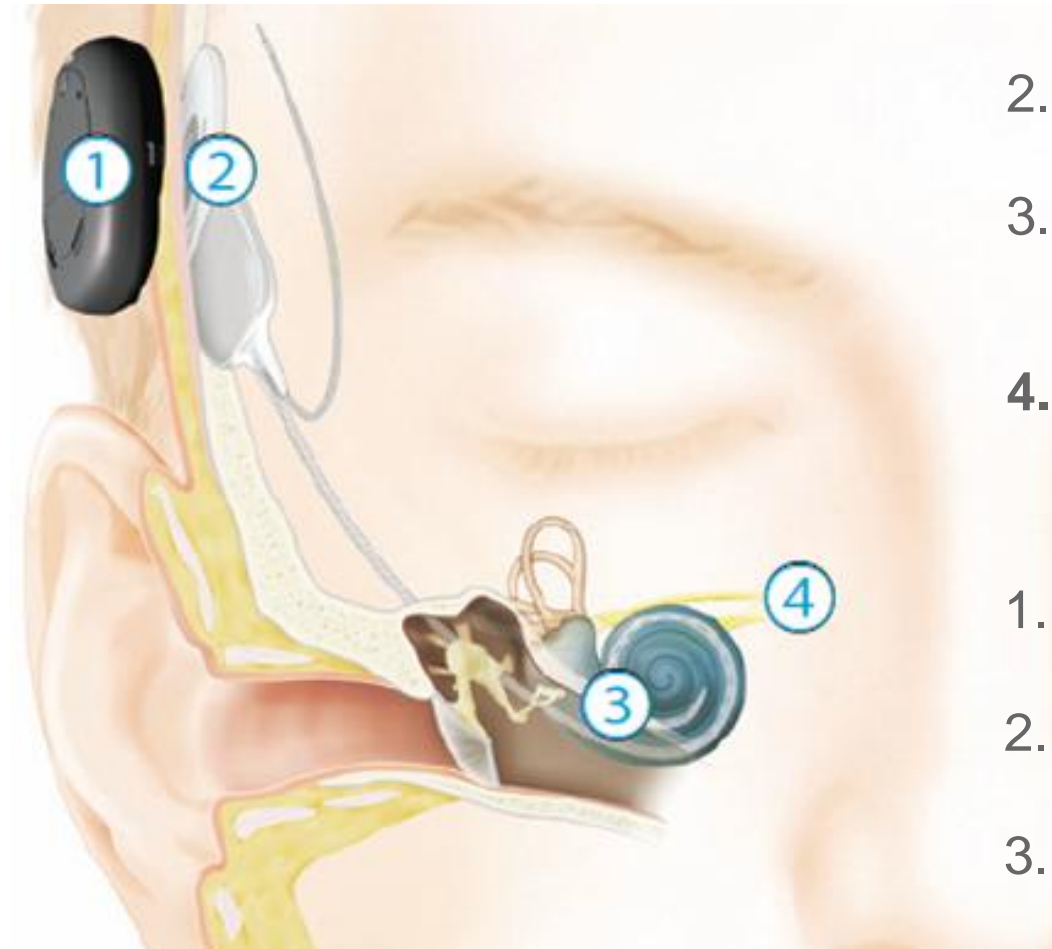
## 前庭眼球反射:

前庭系と目の動きを制御する脳神経との接続により、頭が動いた時に生じる網膜上の像のブレをなくすように、眼球の動きにより頭の動きを補正する反射。頭部の動きの間、目の筋肉は頭部の動きと反対方向に目を動かし、視覚刺激を視野の中心に保つ。

# ***Part 4. Cochlear implant***

## **人工内耳**

# Cochlear implant 人工内耳

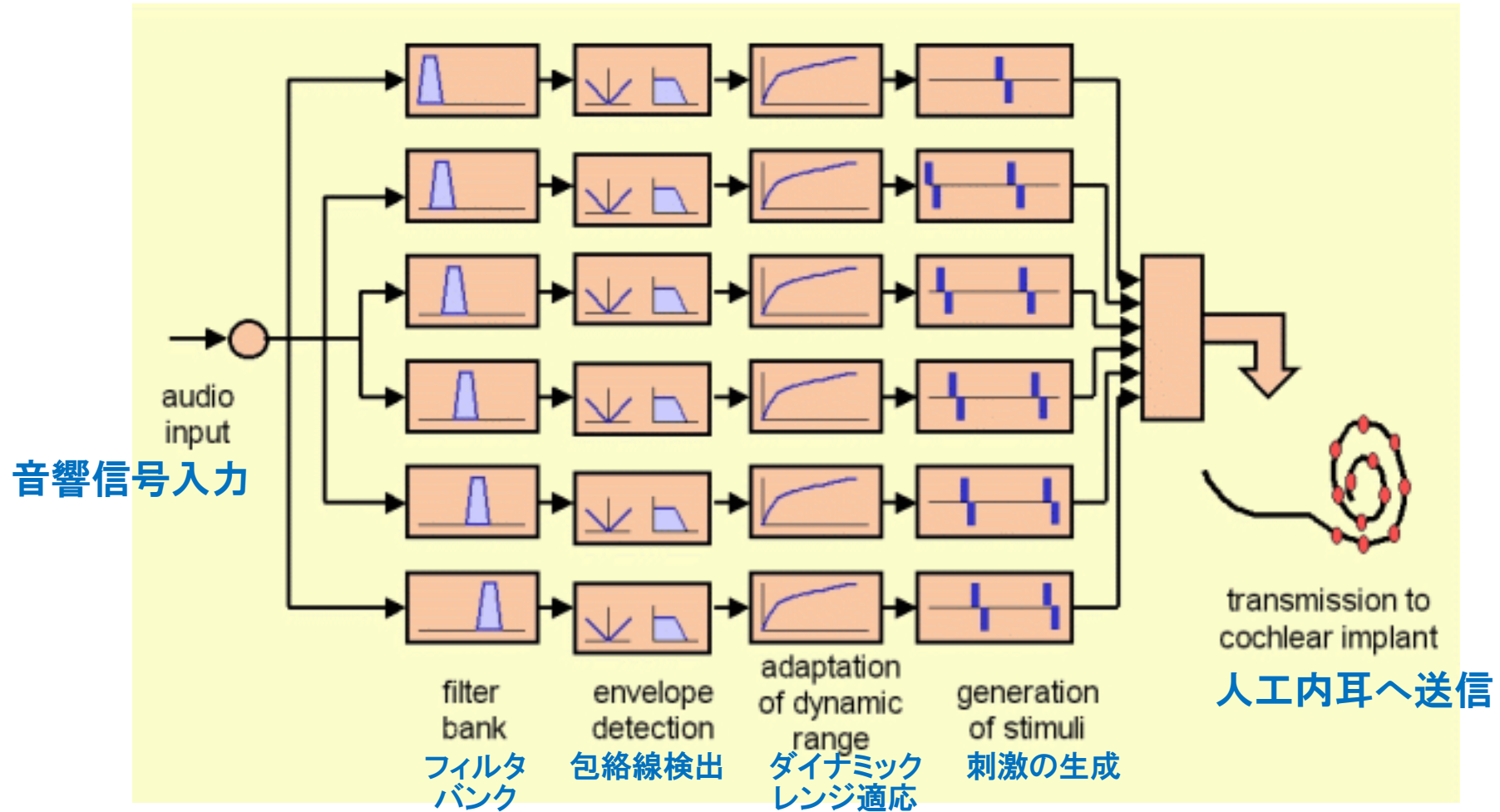


1. **The microphone**, which is an extracorporeal device, picks up the sound and converts into a digital signal.
2. The digital signal is sent through the transmitting coil to **the implant** under the skin.
3. The sound converted to a digital signal is converted into an electrical impulse by the implant and sent to **an electrode array** located in the cochlea (inner ear).
4. **The electrodes of the implant** stimulate the auditory nerve of the cochlea, which is sent to the brain and recognized as sound.

1. 体外デバイスである**マイク**が音を拾い、デジタル信号に変換します。
2. デジタル信号は送信コイルを介して皮下の**インプラント**に送信されます。
3. デジタル信号に変換された音は、インプラントによって電気インパルスに変換され、蝸牛 (内耳) にある**電極アレイ**に送信されます。
4. **インプラントの電極**が蝸牛の聴覚神経を刺激し、その刺激が脳に送られて音として認識されます。

# Signal processing in the implant

## インプラント内の信号処理



*Block diagram of a cochlear implant system.*  
人工内耳システムのブロック図

# Cochlear implant electrode 人工内耳電極

- Human cochlea contains on the order of 3,500 inner hair cells and 12,000 outer hair cells at birth.
- The cochlear implant uses 22 electrodes instead of these cells to conduct the stimulus.
- 人間の蝸牛には、出生時に内有毛細胞約3,500 個、外有毛細胞約12,000 個がある。
- 人工内耳は、これらの細胞の代わりに 22 個の電極を使用して刺激を伝達する。

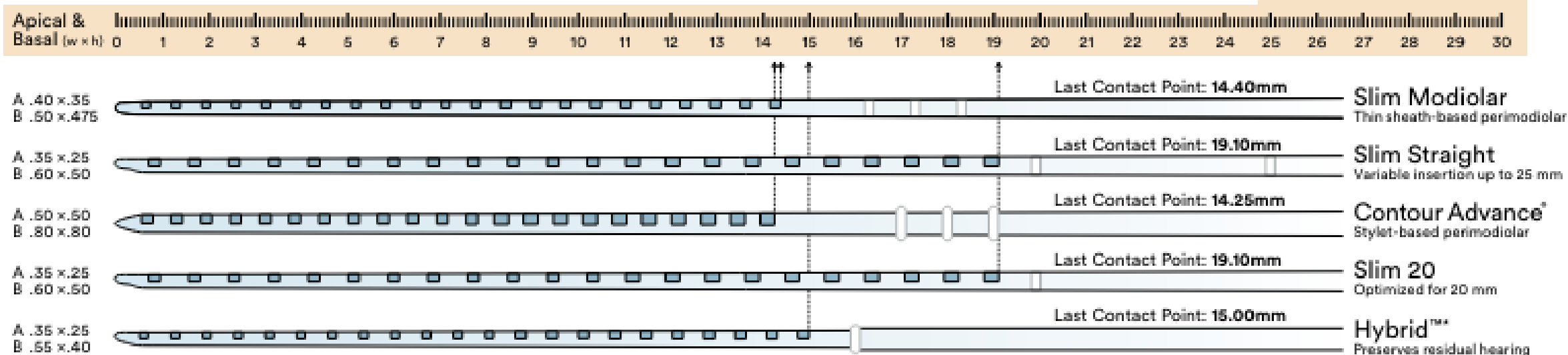
## 1 Cochlear Ltd.

Note: 22 stimulation channels on all electrodes

Active Contacts

Stiffening Rings

Linear Electrode Depth (mm)



- Slim Modiolar electrode in perimodiolar position



- Slim Straight electrode in lateral wall position



- Contour Advance electrode in perimodiolar position

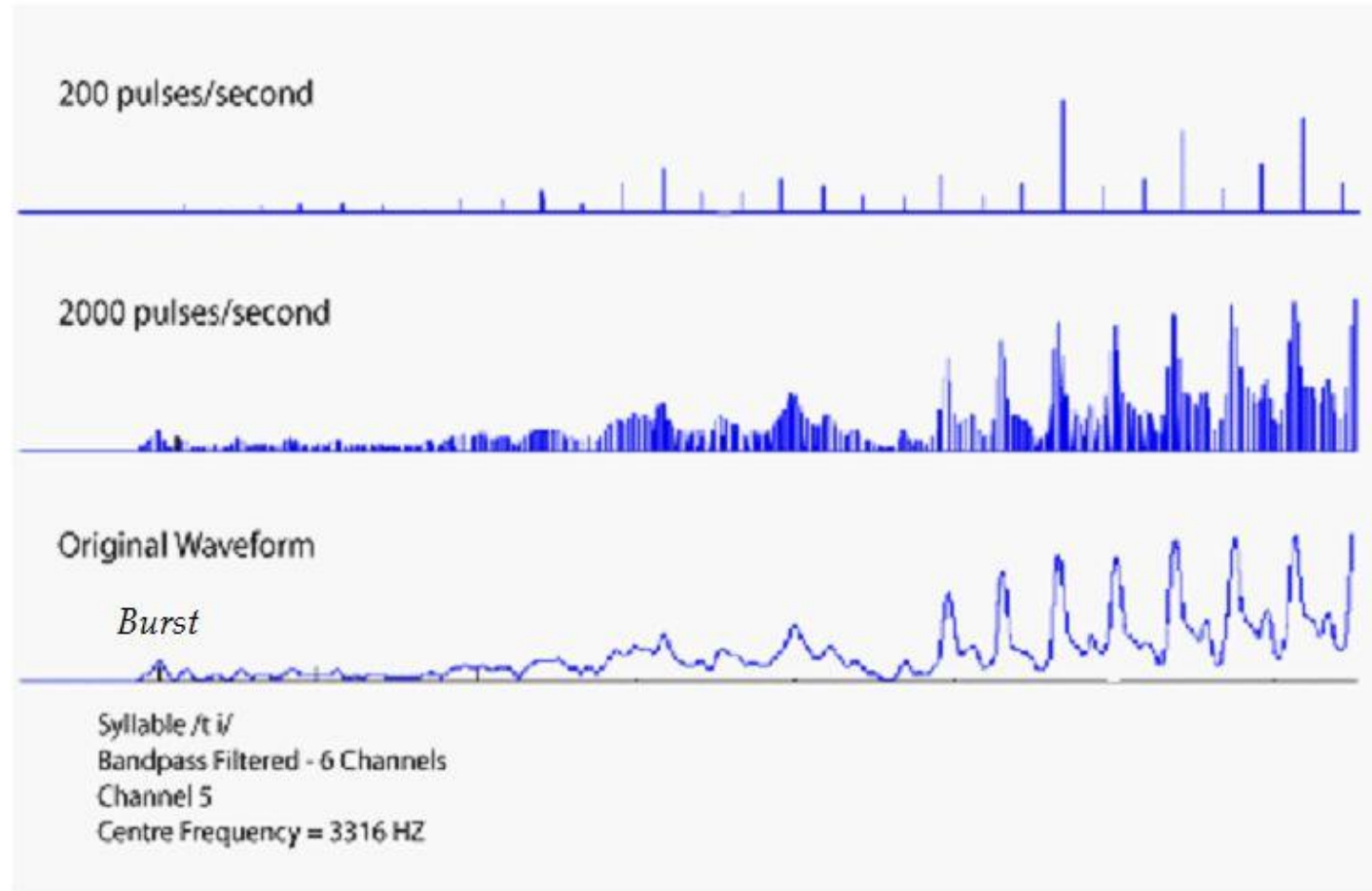


- Slim 20 electrode in lateral wall position





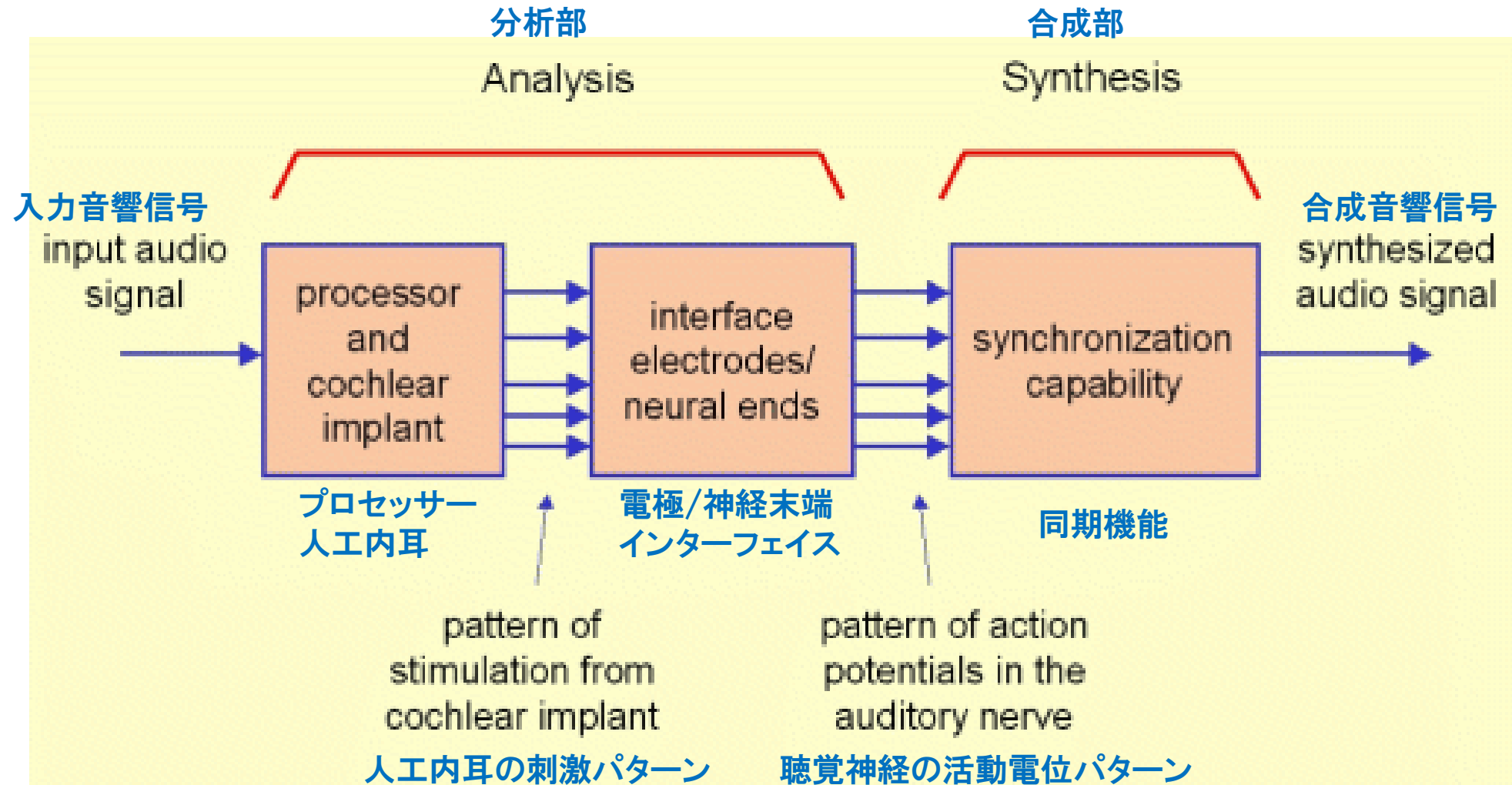
# Cochlear implant stimulation rate 人工内耳の刺激速度



The time required for the repolarization of the neurons after a neural firing is about 2 ms.  
For this reason, a stimulation rate above 1000 pulses per second is adequate.

神経興奮後のニューロンの再分極に必要な時間は約 2 ミリ秒。  
このため、1 秒あたり 1000 パルスを超える刺激速度が適切。

# Cochlear Implant Simulation 人工内耳シミュレーション



*Block diagram of the program “Cochlear Implant Simulation”.*

“人工内耳シミュレーション” プログラムのブロック図。

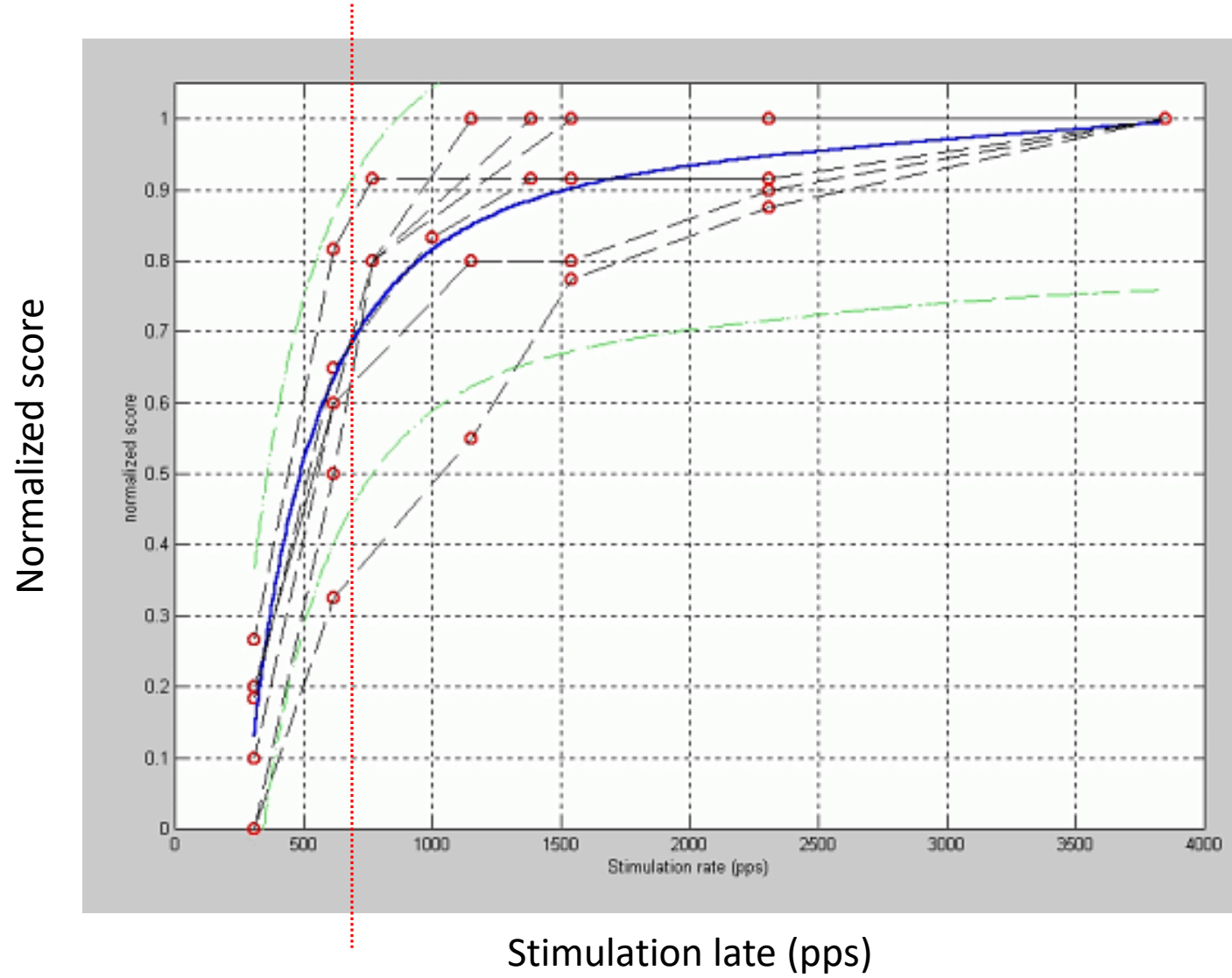
[http://www.ugr.es/~atv/web\\_ci\\_SIM/en/seccion\\_4\\_en.htm](http://www.ugr.es/~atv/web_ci_SIM/en/seccion_4_en.htm)

# Effects of cochlear implant parameters on hearing

## 人工内耳パラメータが聴覚に及ぼす影響

- 7 patients wearing a cochlear implant
  - All of them were same device at the same hospital.
  - Test parameters are the stimulation rate, the number of channels and the inter-channel interaction coefficient.
  - Both, original and synthesized sentences by “Cochlear Implant Simulation” were presented to the patient.
  - Patient evaluate the quality of perception of each sentence in a scale from 0 (worst quality) to 10 (best quality).
- 
- 人工内耳を装着している患者 7 名
  - 同じ病院, 同じ装置
  - テストパラメータは、刺激速度、チャネル数、およびチャネル間相互作用係数。
  - オリジナル文と「人工内耳シミュレーション」による合成文の両方を患者に提示。
  - 患者は各文の知覚の質を 0 (最悪の品質) から 10 (最高の品質) までのスケールで評価。

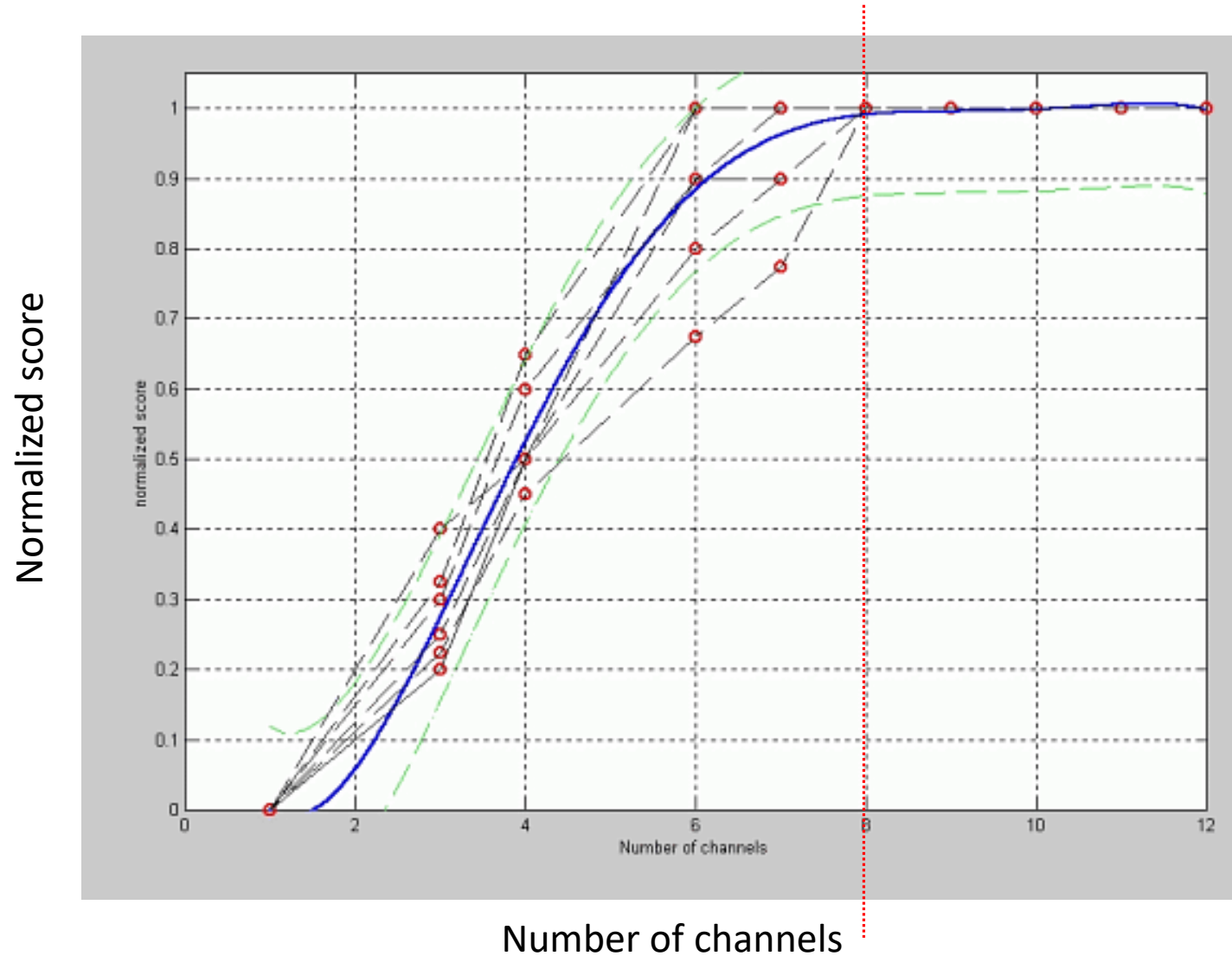
# 1. Effect of the stimulation rate 刺激速度の影響



*Fitting of the normalized quality score versus the stimulation rate.*

品質スコアと刺激速度

## 2. Effect of the number of channels チャンネル数の影響

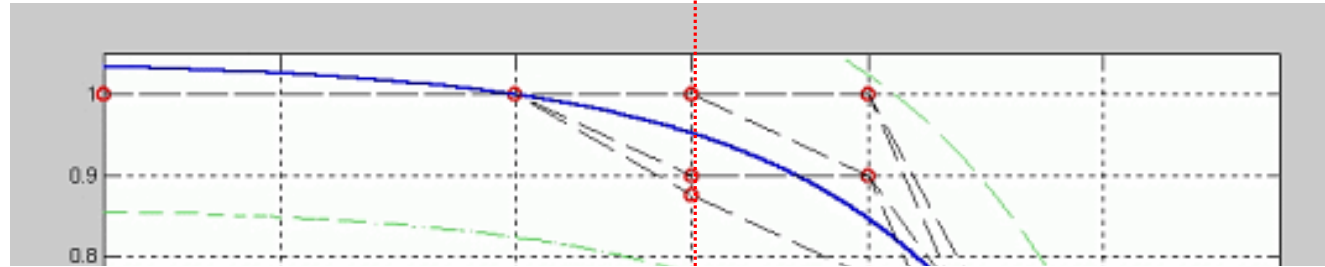


*Fitting of the normalized quality score versus the number of channels*

品質スコアとチャンネル数



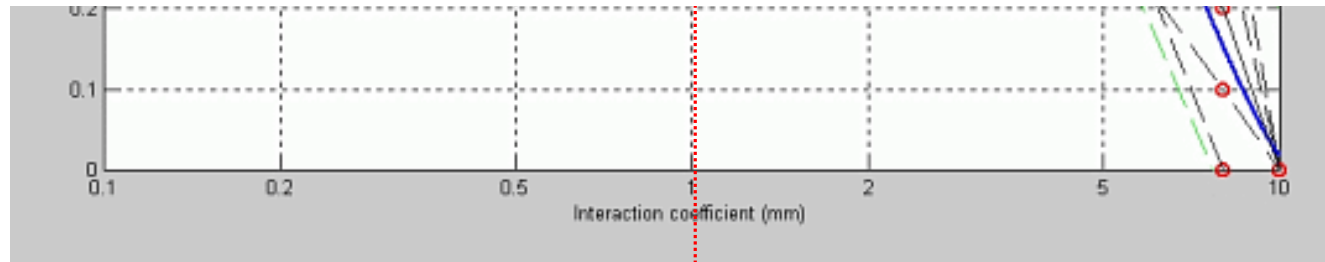
### 3. Effect of the channel interaction coefficient チャンネル相互作用係数の影響



In this way, it was found that the cochlear implant can perceive human voice and music with about 20 electrodes and a stimulation rate of about 3000 pps.

Our ears perceive sound by more precise work.

人工内耳は約20本の電極と約3000ppsの刺激速度で人の声や音楽を知覚できる。  
私たちの耳は、より精密な作業によって音を認識。



Interaction coefficient (mm)

*Fitting of the normalized quality score versus the channel interaction coefficient.*

品質スコアとチャンネル相互作用係数

[http://www.ugr.es/~atv/web\\_ci\\_SIM/en/seccion\\_4\\_en.htm](http://www.ugr.es/~atv/web_ci_SIM/en/seccion_4_en.htm)

***Part 1. Structure of ear***

***Part 2. Sound signal transduction***

***Part 3. Equilibrium***

***Part 4. Cochlear Implant***

References

<https://open.oregonstate.edu/aandp/chapter/15-3-hearing/>