

201128146B

厚生労働科学研究費補助金  
難治性疾患克服研究事業

# 優性遺伝形式をとる遺伝性難聴に関する調査研究

平成22～23年度 総合研究報告書

研究代表者 宇佐美 真一

平成24(2012)年 3月

## 目 次

I. 優性遺伝形式をとる遺伝性難聴に関する調査研究班名簿	-----	1
II. 総合研究報告		
優性遺伝形式をとる遺伝性難聴に関する調査研究	-----	7
宇佐美 真一		
(資料) 優性遺伝形式をとる遺伝性難聴に関する調査研究班共通臨床調査用紙		
(資料) 優性遺伝形式をとる遺伝性難聴 診療ガイドライン (試案) 2012		
III. 研究成果の刊行に関する一覧表	-----	99
IV. 研究成果の刊行物・別刷	-----	105

I. 優性遺伝形式をとる遺伝性難聴に関する調査研究班

研究班名簿

平成 23 年度 厚生労働科学研究費補助金難治性疾患克服研究事業  
 優性遺伝形式をとる遺伝性難聴に関する調査研究班

区 分	氏 名	所 属	職 名
研究代表者	宇佐美真一	信州大学医学部耳鼻咽喉科	教 授
研究分担者	工 穰	信州大学医学部耳鼻咽喉科	准教授
	熊川 孝三	虎の門病院 耳鼻咽喉科・聴覚センター	部長
	東野 哲也	宮崎大学医学部感覚運動医学講座耳鼻咽喉 喉・頭頸部外科学分野	教授
	佐藤 宏昭	岩手医科大学医学部耳鼻咽喉科学講座	教授
	古屋 信彦	群馬大学大学院耳鼻咽喉科・頭頸部外科学 講座	教授
	長井今日子	群馬大学大学院耳鼻咽喉科・頭頸部外科学 講座	助教
	武市 紀人	北海道大学医学部附属病院耳鼻いんこう科	講師
	石川浩太郎	自治医科大学医学部耳鼻咽喉科	講師
	池園 哲郎	日本医科大学医学部耳鼻咽喉科	准教授
	内藤 泰	神戸市立医療センター中央市民病院	副病院長
	福島 邦博	岡山大学医学部耳鼻医員効果	講師

	鎌谷 直之	理化学研究所ゲノム医科学研究センター	センター長
研究協力者	茂木 英明	信州大学医学部耳鼻咽喉科	助教
	福岡 久邦	信州大学医学部耳鼻咽喉科	助教
	内藤 武彦	信州大学医学部耳鼻咽喉科	医員
	西尾 信哉	信州大学医学部耳鼻咽喉科	研究員
	阿部 聡子	虎の門病院 耳鼻咽喉科	非常勤医師
	小林有美子	岩手医科大学耳鼻咽喉科学講座	非常勤医師

## II. 総合研究報告

## 優性遺伝形式をとる遺伝性難聴に関する調査研究

研究代表者 宇佐美真一（信州大学医学部耳鼻咽喉科）

### 研究要旨

先天性難聴は新生児 1000 人に 1 人に認められる頻度の高い先天性障害のひとつである。優性遺伝形式をとる遺伝性難聴の場合、1) 罹患者数が少なく希少であり、2) 家系ごとに原因遺伝子や臨床経過が大きく異なるため、効果的な診断法および治療法は未だ確立されておらず、多くの場合発症メカニズムは不明である。また、3) 進行性の難聴である場合が多く、長期に渡って生活面に支障を来す。さらに、4) 優性遺伝形式で遺伝するため、再発率（次の世代に難聴が遺伝する確率）が 50%であることより、患者の心理的負担が非常に大きいため、診断法・治療法の開発が期待されている。

本研究では、優性遺伝形式をとる遺伝性難聴患者を対象に、難聴の経過や随伴症状などの臨床情報・治療実態の調査を行いデータベース化することで、優性遺伝形式をとる遺伝性難聴患者の実態把握と治療法確立のための基盤整備を目的としている。

本研究では全国の 10 施設との連携により臨床情報および遺伝子サンプルの収集を行った。その結果、先天性難聴患者全体と比較をした場合、優性遺伝形式をとる遺伝性難聴の患者の臨床的な特徴として、軽度～中等度難聴の場合が多く、かつ進行性の難聴が多いため、難聴発見が遅れる傾向にあることが明らかとなった。また、候補遺伝子解析の結果、*KCNQ4* 遺伝子、*WFS1* 遺伝子、*TECTA* 遺伝子の新規遺伝子変異を見出した。また、遺伝子変異と臨床像との相関解析より、原因遺伝子ごとに臨床像が類似している事が明らかとなったことより、適切な医学的介入手法選択のためには原因検索としての遺伝子解析が有効であることが示された。

### 研究分担者：

工 穰（信州大学医学部耳鼻咽喉科・准教授）、熊川孝三（虎の門病院耳鼻咽喉科・聴覚センター・部長）、東野哲也（宮崎大学医学部感覚運動医学講座耳鼻咽喉・頭頸部外

科学分野・教授）、佐藤宏昭（岩手医科大学医学部耳鼻咽喉科学講座・教授）、古屋 信彦（群馬大学大学院医科学専攻高次機能統御系脳神経病態制御学耳鼻咽喉科・頭頸部外科学講座・教授）、長井今日子（群馬大学

大学院医科学専攻高次機能統御系脳神経病態制御学耳鼻咽喉科・頭頸部外科学講座・講師)、武市紀人(北海道大学医学部附属病院耳鼻いんこう科・講師)、石川浩太郎(自治医科大学耳鼻咽喉科・講師)、池園哲郎(埼玉医科大学耳鼻咽喉科・教授)、内藤泰(神戸市立センター中央市民病院・副病院長)、福島邦博(岡山大学医学部耳鼻咽喉科・講師)、鎌谷直之(理化学研究所ゲノム医科学研究センター・センター長)

#### **研究協力者：**

鈴木伸嘉、茂木英明、福岡久邦、内藤武彦、宮川麻衣子、岩佐陽一郎、西尾信哉(信州大学医学部耳鼻咽喉科)、阿部聡子(虎の門病院耳鼻咽喉科)、永野由起(宮崎大学医学部感覚運動医学講座耳鼻咽喉・頭頸部外科学分野)、小林有美子(岩手医科大学耳鼻咽喉科学講座)、高橋克昌、村田考啓(群馬大学大学院医科学専攻高次機能統御系脳神経病態制御学耳鼻咽喉科・頭頸部外科学講座)

#### **A. 研究目的**

先天性難聴は新生児 1000 人に 1 人に認められる頻度の高い先天性障害のひとつである。

優性遺伝形式をとる遺伝性難聴の場合、1) 罹患者数が少なく希少であり、2) 家系ごとに原因遺伝子や臨床経過が大きく異なるため、効果的な診断法および治療法は未だ確立されておらず、多くの場合発症メカニズムは不明である。また、3) 進行性の難聴である場合が多く、長期に渡って生

活面に支障を来たす。さらに、4) 優性遺伝形式で遺伝するため、再発率(次の世代に難聴が遺伝する確率)が 50%であることより、患者の心理的負担が非常に大きいため、その診断法および治療法の開発が期待されている。

本研究では、優性遺伝形式をとる遺伝性難聴患者を対象に、難聴の経過や随伴症状などの臨床情報および治療実態の調査を行いデータベース化することで、優性遺伝形式をとる遺伝性難聴患者の実態把握と治療法確立のための基盤整備を行うとともに、原因の特定、発症メカニズムの推定、適切な治療法を開発するための基盤となる遺伝子バンクを構築することを目的としている。本研究により、臨床情報データベースが構築されることにより、疾患の実態把握および治療方法の実態把握が可能となり、適切な治療法確立のための指針が示されることが期待される。また、将来的に分子遺伝学的解析によって疾患の原因遺伝子が同定されることで、将来的に遺伝子型に応じた進行予防のための治療法が開発が行なわれることが期待される。

#### **B. 研究方法**

「優性遺伝形式をとる遺伝性難聴」の罹患頻度は、非症候群性難聴患者(新生児 1000 人に 1 人)の約 10%程度と推定されている(Kimbering et al., 1999)。この推定に基づくと、日本人における患者数はおおよそ 13,000 人であると考えられるが、日本における実態把握はほとんど行われてい



ないため不明確である。また、中等度難聴が多く進行性の経過をたどることが示唆されているが聴力像・経過とも家系ごとにバリエーションが多く、実際は多様な原因による難聴が混在している状況である。

本研究では、優性遺伝形式をとる遺伝性難聴患者を対象に、難聴の程度や経過、随伴症状などの臨床情報、補聴器・人工内耳の装用成績などの治療実態の調査を行いデータベース化することで、優性遺伝形式をとる遺伝性難聴患者の実態把握と治療法確立のための基盤整備を行った。また原因の特定、発症メカニズムの推定、適切な治療法を開発するための基盤となる遺伝子バンク構築を進めるとともに候補遺伝子解析アプローチによる遺伝子解析を行った。

#### (1) 臨床情報収集のための調査項目の検討

本研究では、共同研究の体制で優性遺伝形式をとる遺伝性難聴患者の実態（日本における罹患患者数・臨床像・随伴症状・治療実態・治療効果など把握）を把握するため、情報収集を行なう患者の選定基準と収集する臨床情報などを統一する必要がある。

また、優性遺伝形式をとる遺伝性難聴の多くは、進行性の難聴を呈するため、家系内の若年者から高齢者までをフォローするとともに、レトロスペクティブに過去の聴力像や増悪時の加療とその治療効果などの臨床情報を収集するための調査項目を策定し1枚の調査用紙にまとめた（添付資料「症例登録用紙」参考）。調査項目としては患者基礎情報（性別、生年月日、年齢、発症年

齢、採血日）、問診調査項目（聴力の変動の有無、難聴の進行の有無、耳鳴の有無、めまいの有無、内耳奇形の有無、耳瘻孔の有無、甲状腺腫の有無、糖尿病の既往、結核の既往、アミノ配糖体抗生物質投与歴、補聴器装用の有無、人工内耳装用の有無、家系内罹患患者）臨床検査結果（初診時のオーディオグラム、最新のオーディオグラム、自記オーディオメトリー、裸耳語音聴力、補聴閾値、補聴時の語音聴力など）とした。

#### (2) 臨床情報収集の継続

平成 21 年度に策定した臨床情報収集のための患者選定基準、調査項目を基に、分担研究者の所属する医療機関を中心とした共同研究の体制で優性遺伝形式をとる遺伝性難聴患者の実態把握（日本における罹患患者数・臨床像・随伴症状・治療実態・治療効果など把握）のための調査研究を実施した。平成 21 年度は研究分担者の所属する 5 施設での共同研究体制（信州大学・岩手医科大学・虎の門病院・群馬大学・宮崎大学）で調査を実施し、平成 22 年度は新たに 5 施設（北海道大学・日本医科大学・自治医科大学・神戸市立医療センター中央市民病院・岡山大学）を追加した 10 施設体制で臨床情報の収集および DNA 試料の収集を実施した。

調査項目としては、前項の調査項目の検討のうちに決定した下記事項を調査した。患者基礎情報（性別、生年月日、年齢、発症年齢、採血日）、問診調査項目（聴力の変動の有無、難聴の進行の有無、耳鳴の有無、

めまいの有無、内耳奇形の有無、耳瘻孔の有無、甲状腺腫の有無、糖尿病の既往、結核の既往、アミノ配糖体抗生物質投与歴、補聴器装用の有無、人工内耳装用の有無、家系内罹患者) 臨床検査結果 (初診時のオーディオグラム、最新のオーディオグラム、自記オーディオメトリー、裸耳語音聴力、補聴器閾値、補聴時の語音聴力) および現病歴、特記事項とした (添付資料「症例登録用紙」参考)。

また、研究に先立ち、患者説明用紙を用いて十分に説明を行った上、書面で同意を得て採血を行い信州大学で DNA 試料のバンク化を行った (添付資料「患者用説明用紙」参考)。臨床情報および採血に先立ち、各研究機関にて匿名化を行い個人情報の保護を徹底して臨床データの収集を実施した。また、試料の搬送に関しては専門の業者に外注して行った。

### (3) データベースの構築および優性遺伝形式をとる遺伝性難聴患者の実態把握

各分担研究機関より収集された臨床情報を基にデータベースを構築し、優性遺伝形式をとる遺伝性難聴患者の実態の把握を進め、治療のための方針の取りまとめを行った。

平成 21 年度 22 年度に実施した調査研究では、平成 21 年度に 62 名、平成 22 年度に 82 名の合計 144 名の臨床情報が共同研究機関より収集された。このデータに、信州大学医学部耳鼻咽喉科が従来より管理している難聴遺伝子データベースに含まれる

優性遺伝形式をとる難聴患者群 377 名を併せた 526 名を優性遺伝形式を取る遺伝子難聴患者群として用いた。

また比較のための対象群として、同データベースに登録されている発端者 (1715 名: 含む優性遺伝形式をとる遺伝性難聴患者 377 名) を用いた。

比較項目としては臨床基礎項目 (発症年齢、難聴の程度、聴力の変動、難聴の進行)、随伴症状 (めまい、耳鳴、内耳奇形、糖尿病) の各項目に関して比較を行った。統計解析には連続値には  $t$  検定を、有無で表現されるカテゴリー値には  $\chi^2$  検定を用いた。

### (4) 優性遺伝形式をとる遺伝性難聴の遺伝子解析

優性遺伝形式をとる遺伝性難聴患者の中には、見かけ上、優性遺伝形式を取るように見えるシュード・ドミナント (偽優性) の家系が含まれているため、真の疾患頻度を算出するためには、全体に含まれるシュード・ドミナント家系の頻度を明らかにする必要がある。

そこで、優性遺伝形式をとる遺伝性難聴患者全例を対象に、日本人の劣性遺伝形式をとる遺伝性難聴の原因として最も高頻度で認められる *GJB2* 遺伝子変異、また母系遺伝形式をとるミトコンドリア 1555A>G 変異の解析を行った。*GJB2* 遺伝子の解析にはコーディング領域を PCR 法により増幅し直接シーケンス法により解析を行った。ミトコンドリア 1555A>G 変異の解析には PCR-RFLP 法を用いた。

また、新規遺伝子変異を見出すとともに、遺伝子解析に基づく患者のサブタイプ分類を進める事を目的に、*KCNQ4* 遺伝子、*TECTA* 遺伝子、*WFS1* 遺伝子の全エクソンおよびスプライシング領域を PCR 法により増幅し直接シーケンス法により解析を行った。

(倫理面への配慮)

研究の実施に先立ち主任研究機関および共同研究機関とも遺伝子解析倫理委員会に倫理審査の申請を行い、承認を受けた上で実施している。

試料の採取に際しては、患者用説明書を用いて十分な説明を行った上、書面で同意を得てから実施している。

個人情報保護に配慮し、採血を行う時点で各施設において匿名化を行い、個人を特定できないようにした後で DNA 抽出および解析を行う手順を遵守して実施している。

## C. 研究結果

### (1) 優性遺伝形式をとる遺伝性難聴患者の実態把握

優性遺伝形式をとる遺伝性難聴患者の実態の把握および治療実態の把握を目的に、共同研究機関より新規に収集された 82 名、昨年度までに共同研究機関より収集されていた 62 名、および信州大学医学部耳鼻咽喉科が従来より管理している難聴遺伝子データベースに含まれる優性遺伝形式をとる難

聴患者群 377 名を併せた 526 名より、臨床基礎項目(発症年齢、難聴の程度、聴力の変動、難聴の進行)、随伴症状(めまい、耳鳴、内耳奇形、糖尿病)、治療実態(補聴器・人工内耳装用の有無、装用閾値、語音弁別検査結果)の調査を実施するとともに、同データベースの発端者(1715 名)を対象に解析を行った。

#### (1)-1 頻度:

本研究における、日本人難聴患者に占める優性遺伝形式をとる遺伝性難聴患者の割合は 22%であり、海外の報告の 10%とほぼ同程度(Kimbering 1999)かあるいはやや多い頻度であることが明らかとなった。

日本における難聴患者の頻度はおよそ 1000 人 1 人程度であると考えられているため、日本における優性遺伝形式をとる遺伝性難聴の罹患率頻度は 10,000 人に 2.2 人程度であることが明らかとなった。しかしながら、本研究の母集団としては難聴の遺伝子検査の研究協力に同意している群を用いているため、家系内に難聴者が多く認められる優性遺伝形式をとる遺伝性難聴患者では、遺伝性の難聴であることが分かりやすいため遺伝子検査に協力する例が多く、実際の患者頻度よりも多めに集積される可能性があることが示唆される。

分担研究機関が昨年度それぞれ実施した頻度調査では、岩手医大: 763 例中 140 例(18.3%)、群馬大学: 84 例中 16 例(19%)、宮崎大学: 159 例中 7 例(5%)と頻度にはば

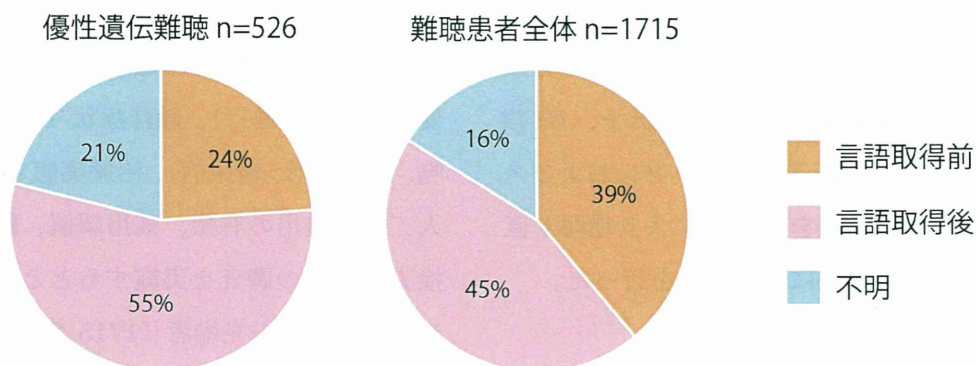


図1 優性遺伝形式をとる遺伝性難聴患者と難聴患者全体の難聴発症（診断）年齢の比較（優性遺伝群 n=526、全体 n=1713  $p=0.018$   $\chi^2$ 検定）

らつきが認められる。また、財団法人テクのエイド協会および岡山大学医学部耳鼻咽喉科が中心となって進めている厚生労働科学研究費補助金感覚障害戦略研究の症例対象研究参加者では 638 名中 20 名（3.1%）が優性遺伝形式をとる遺伝性難聴家系と推測されている。感覚器障害戦略研究に参加する母集団では、4 歳までに 70dB 以上の難聴という患者選定基準があるため、難聴の程度がやや軽度で、かつ進行の難聴呈するという特徴を持つ優性遺伝形式をとる遺伝性難聴の患者の頻度は低い事が示唆される。

また、後述の同じ母集団を用いて遺伝子解析により、一見優性遺伝家系に見えるが、実際には劣性遺伝の難聴患者と保因者の婚姻や、ミトコンドリア遺伝家系などのシェード・ドミナントが 10%程度存在するというデータが得られたため、実際の頻度は 12%程度となり、海外の報告と同程度であることが明らかとなった。

#### （1）-2 発症年齢：

従来、経験的に優性遺伝形式をとる遺伝性難聴の患者では難聴の程度が比較的軽度であり、かつ進行性の難聴である場合が多いために、相対的に難聴発見年齢が遅れることが指摘されていたが、その実態は明らかとなっていなかった。

本研究により、優性遺伝形式をとる遺伝性難聴の患者の発症時（難聴発見時）の平均年齢は 23.0 歳であり、難聴患者全体の平均 20.3 歳と比較して有意に遅れる傾向にあることが明らかとなった。

また、詳細に見ていくと先天性の難聴であると考えられる 6 歳未満に難聴が発見されたケースが全体の 24%、6 歳以降に難聴が発見されたケースが 55%であった。一方、難聴患者全体で見ると、6 歳未満に難聴が発見されたケースが全体の 39%、6 歳以降に難聴が発見されたケースが 45%であった。

先天発症（難聴発見時年齢 6 歳未満）と後天発症（難聴発見時年齢 6 歳以上）の比較では、優性遺伝形式をとる遺伝性難聴の

患者のほうが有意に後天発症と考えられる症例が多いことが明らかとなった（図1  $p=0.018$   $\chi^2$ 検定）。

いずれも有意な差が認められたことより、従来、経験的に予測されていたとおり優性遺伝形式をとる遺伝性難聴患者群は難聴患者全体と比較して難聴発見年齢が遅れる傾向があることが明らかとなった。次の項で述べるように、優性遺伝形式をとる遺伝性難聴の場合、難聴の程度が比較的軽度であるとともに進行性の難聴であるケースが多いため、難聴の発見が遅れる傾向にあると考えられる。また、今回のデータは0歳から86歳までの優性遺伝形式をとる難聴患者のデータを基に検討を行っているが、ここ10年ほどで、新生児聴覚スクリーニング

（1）-3 重症度：

前項にも記載したように、経験的に優性遺伝形式をとる遺伝性難聴の患者は難聴の程度が比較的軽度であると考えられていたが、ケースによっては全音域スケールアウト（測定可能範囲外）となるような重度難聴の症例もあるため、その実態は不明確であった。

本研究により、優性遺伝形式をとる遺伝性難聴の患者の4分法の平均聴力は58.2dB（標準偏差25.7dB）であることが明らかとなった。一方、難聴患者全体の平均値は65.2dB（標準偏差29.4dB）であり、優性遺伝形式をとる遺伝性難聴患者のほうが有意に難聴の程度が軽いことが明らかとなった。また、国際基準に従い分類したところ優性遺伝形式をとる遺伝性難聴患者の63%が

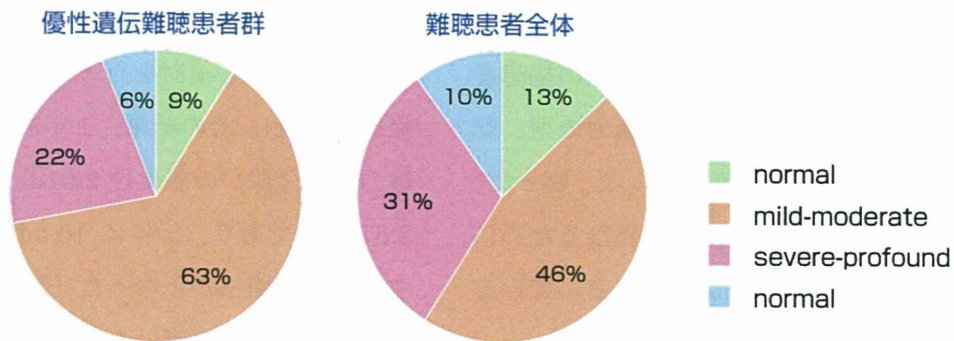


図2 優性遺伝形式をとる遺伝性難聴患者と難聴患者全体の難聴の程度（重症度）の比較（優性遺伝群 n=526、全体 n=1713  $p=0.0000003$   $\chi^2$ 検定）

が普及し難聴が早期に発見されるようになってきたため、優性遺伝形式をとる遺伝性難聴であっても、今後、発見年齢には徐々に早期化してくると考えられる。

軽度～中等度難聴、22%が高度～重度難聴であるのに対して、難聴患者全体では、46%が軽度～中等度難聴、31%が高度～重度難聴であることが明らかとなった（図2  $p <$

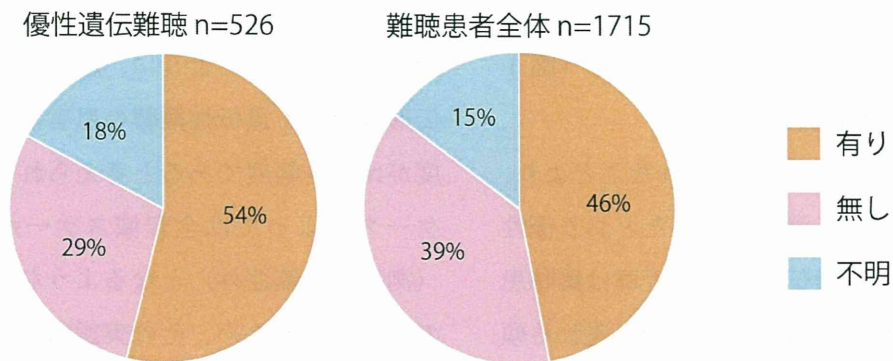


図3 優性遺伝形式をとる遺伝性難聴患者と難聴患者全体の難聴進行の自覚頻度の比較 (優性遺伝群 n=526、全体 n=1713  $p=0.00002$   $\chi^2$ 検定)

0.001  $\chi^2$ 検定)。

聴力の重症度に関しても、従来から経験的に類推されていたように優性遺伝形式をとる遺伝性難聴患者の難聴の程度は軽度であることが示されたが、詳細に見ていくと4分法で100dBを超えるような症例もあり、聴力の程度はかなり多様であることが改めて確かめられた。また、優性遺伝形式をとるため、家系内に複数の罹患者が認められるが、家系内では聴力の型、聴力の程度とも比較的類似していた。従って、家系ごとに原因遺伝子変異が異なるために、難聴の程度もバリエーションに富んでいることが示唆される。

#### (1)-4 進行性：

前項に記載したように、経験的に優性遺伝形式をとる遺伝性難聴の患者では難聴の程度が比較的軽度であり、かつ進行性の難聴である場合が多いと考えられていたが、進行性の患者の割合、進行の程度に関しては不明であった。本研究では問診票ベース

の調査により優性遺伝形式をとる遺伝性難聴患者の54%が難聴の進行の自覚があった。一方、難聴患者全体では46%であり、優性遺伝形式をとる遺伝性難聴患者の方が進行性の難聴の割合が多いことが明らかとなった。(図3  $p < 0.001$   $\chi^2$ 検定)。また、進行の程度を把握するために初診時の聴力増および最新の聴力のデータを収集し進行性に関する検討を行った(非進行性の症例を含む)。その結果、1年あたりの平均聴力(四分法)の悪化は2.01dB(標準偏差8.87dB)であり、5年に10.5dB程度進行することが明らかとなった(図4)。しかしながら、進行の程度は0dB~59dBとばらつきが大きく、症例によっては非常に早く進行する例もあることが示された。

#### (1)-5 随伴症状：

優性遺伝形式をとる遺伝性難聴は、症候群性の難聴と非症候群性の難聴の2種が従来より知られている。症候群性の難聴を呈する疾患としては、Alport症候群、

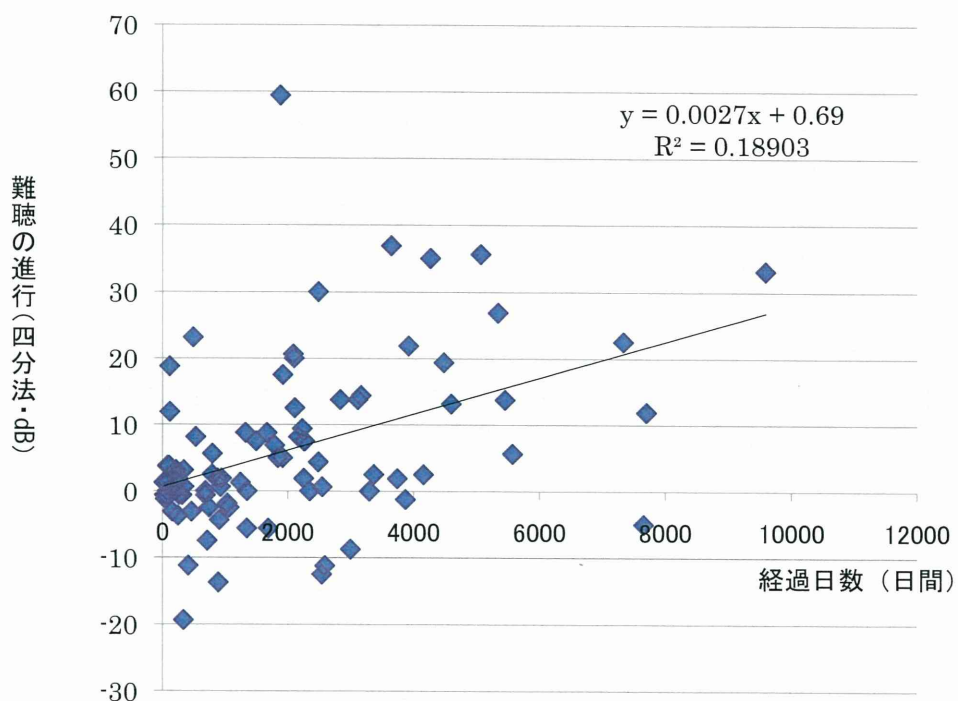


図4 難聴の進行（優性遺伝形式を取る難聴患者のうち2回以上聴力検査を施行したデータのある症例のみ n=88・四分法聴力の増悪と日数の相関）

Branchio-oto-renal 症候群、Jervell & Lange-Nielsen 症候群、Norrie 症候群、Pendred 症候群、Stickler 症候群、Treacher Collins 症候群、Usher 症候群、Waardenburg 症候群が知られており、それぞれ難聴以外に様々な随伴症状を有する。優性遺伝形式をとる遺伝性難聴のうち、非症候群性の難聴に関しては、難聴以外の随伴症状としてめまいおよび耳鳴が報告されている。本研究では問診票ベースの調査により優性遺伝形式をとる遺伝性難聴患者のめまいおよび耳鳴の随伴の有無を調べた。

その結果、20%がめまいのエピソードがあった。一方、難聴患者全体では21%であり大きな差は認められなかった。耳鳴に関しては、優性遺伝形式をとる遺伝性難聴患者の48%が耳鳴の自覚があった。一方、難聴患者全体では42%であり、優性遺伝形式をとる遺伝性難聴患者の方が耳鳴を随伴する割合が高い傾向があることが明らかとなった。 $(p=0.058 \chi^2$ 検定 図5)。従来より、進行性の難聴のケースでは耳鳴を随伴する傾向があることが指摘されていたが、今回のデータにおいても、優性遺伝

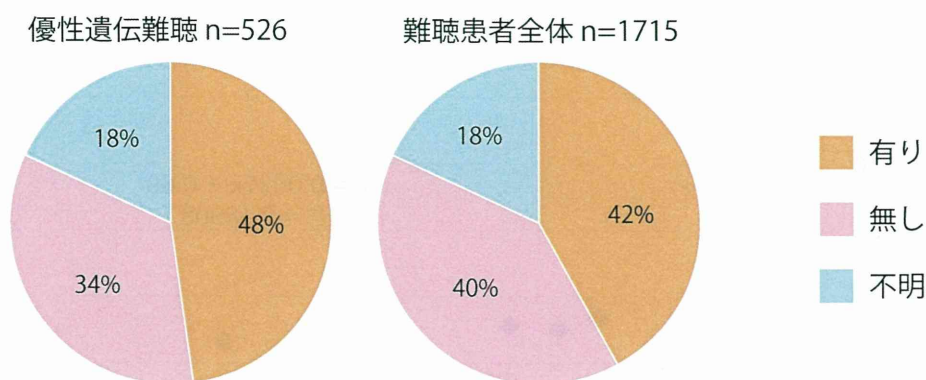


図5 優性遺伝形式をとる遺伝性難聴患者と難聴患者全体の耳鳴の自覚頻度の比較 (優性遺伝群 n=526、全体 n=1715  $p=0.058$   $\chi^2$ 検定)

形式をとる遺伝性難聴患者群の方が進行性の割合が高く、また耳鳴を伴うケースが多いことが改めて示された。また、耳鳴と進行の合併率を調べるために、耳鳴の有る群と無い群のそれぞれで難聴の進行の有る患者の頻度と無い患者の頻度を比較した。

その結果、耳鳴の有る患者群では187例中145例(77.5%)に難聴の進行が認められたのに対して、耳鳴の無い患者群では、難聴の進行が107例中48例(44.8%)と有意に頻度が低く( $p<0.000001$   $\chi^2$ 検定)、進行性の難聴のケースでは耳鳴を随伴することが示された。

また、めまいと耳鳴以外の随伴症状として、糖尿病の合併の有無および内耳奇形の合併の有無に関して調査を行った。糖尿病と内耳奇形を調査した根拠としては、難聴に糖尿病を併発する遺伝性難聴の原因としてミトコンドリア 3243A>G 変異が知られており、また前庭水管拡大を伴う遺伝性難聴の原因遺伝子として *SLC26A4* 遺伝子が知ら

れており、それぞれ、母系遺伝形式、劣性遺伝形式をとることが明らかとなっているため、優性遺伝形式をとる遺伝性難聴患者における実態把握も同様に有用である可能性が示唆されたため実施した。

その結果、糖尿病の合併に関しては優性遺伝形式をとる遺伝性難聴患者の7%が糖尿病を合併しているのに対し、難聴患者全体では6%であり大きな差は認められなかった。また、内耳奇形に関しても、優性遺伝形式をとる遺伝性難聴患者の7%が内耳奇形を合併しているのに対し、難聴患者全体では11%であり、優性遺伝形式をとる遺伝性難聴患者では、内耳奇形を合併する割合がやや小さいことが明らかとなった。

#### (1)-6 治療法：

前項の重症度のところでも述べたように、優性遺伝形式をとる遺伝性難聴の場合、難聴患者全体と比較した場合に、難聴の程度が有意に軽度であることが明らかになった



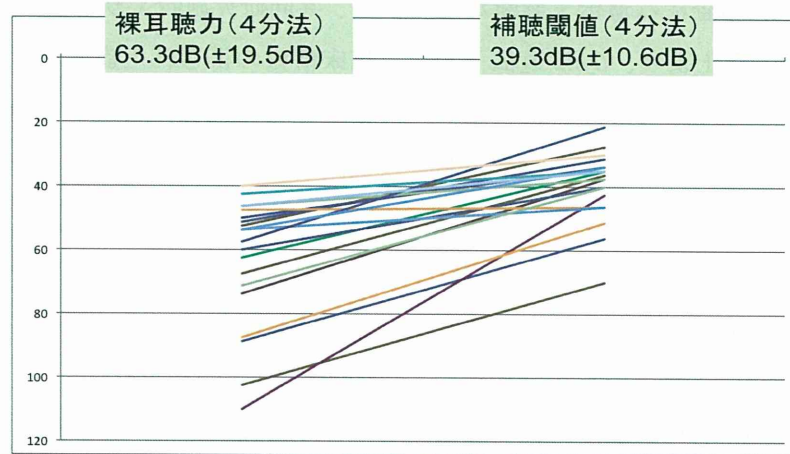


図6 優性遺伝形式をとる遺伝性難聴患者の裸耳聴力と補聴閾値 (n=20)

また、優性遺伝形式をとる遺伝性難聴患者のうち、72%が軽度～中等度難聴に該当するため大部分が補聴器を使用しており、人工内耳装用者は377名中17名(4.5%)であった。今回調査した範囲の難聴患者全体に占める人工内耳装用者の割合は1717名中177名(10.3%)であり、優性遺伝形式をとる遺伝性難聴患者では、難聴の程度が難聴患者全体と比較した場合に、人工内耳の適応となる高度難聴患者の割合が少ないことが示唆された。

また、大部分が補聴器を利用しているということで、裸耳聴力と補聴器装用下での音場閾値検査の結果を比較した。その結果、補聴器装用閾値のデータを収集できた20名に関しては裸耳の聴力の平均(4分法)は63.5dBであり、補聴器装用閾値は39.3dBと平均して24.2dBの改善が認められた。補聴器総用後の聴力レベルはおおよそ40dB程度であり、おおよそ音声言語獲得のために必要なレベルの聴力までの補聴

は出来ているため、優性遺伝形式をとる遺伝性難聴患者に対する補聴器による治療は有効であることが有る程度示された。

## (2) 遺伝子解析

優性遺伝形式をとる遺伝性難聴患者を対象に、*GJB2* 遺伝子変異およびミトコンドリア1555A>G変異の解析を行った。その結果*GJB2* 遺伝子変異による難聴症例が17例認められた。これらの家系は本来であれば劣性遺伝形式をとるはずだが、難聴患者同士が婚姻した例、患者と保因者の婚姻などにより、一見優性遺伝形式に見えるシュード・ドミナント(偽優性)の家系であることが示された。*GJB2* 遺伝子変異は保因者頻度が高いため、シュード・ドミナント(偽優性)の家系が生じやすいことが示唆された。また、ミトコンドリア1555A>G変異が21例に認められた。ミトコンドリア遺伝子変異は母系遺伝するため、家系図からは優性遺伝形式をとる遺伝性難聴と区別が困難

なケースが多く、精査には遺伝子診断が必要不可欠である。以上より、*GJB2* 遺伝子変異、ミトコンドリア 1555A>G 変異によるシュード・ドミナント（偽優性）の家系がおおよそ1割程度存在することが明らかとなった。

また、優性遺伝形式をとる遺伝性難聴患者を対象に候補遺伝子解析を行った結果、*KCNQ4* 遺伝子、*WFS1* 遺伝子、*TECTA* 遺伝子より新規の原因遺伝子変異を見出した。

*KCNQ4* 遺伝子の解析では、9家系より4種類の新規遺伝子変異を含む7種類の遺伝子変異を見出した。見いだされた変異家系の多くは、進行性の高音急墜型の聴力像を呈しており、今後症例数を増やすとともに臨床像の詳細な解析を行い、将来的には、遺伝子解析によりある程度、重症度や予後を予測することが可能であることが期待される。

特に、1つの変異に関しては比較的多くの家系に認められた事より、Frequent mutation であることが示唆された。本変異が生じる機構が mutation hot spot か founder effect かに関して検討を行うために、周辺のハプロタイプ解析を行った。その結果、周辺のハプロタイプは見出された5家系で共通しており、founder effect により生じた可能性が高いことが示唆された。また、変異の見出された変異家系は、信州・東京・九州と居住地域が広範囲にわたっている事からも、日本人に広く認められる原因である事が示唆された。

また、聴力型に基づいたアプローチとし

て、共同研究施設よりDNAサンプルおよび臨床情報の得られた症例を対象に、各患者の純音聴力検査の結果を聴力型ごとに分類（高音急墜型、高音漸傾型、皿型、低音障害型、聾型、水平型など）し、その中でも特に特徴的と考えられる高音急墜型、皿型、低音障害型に関して推察される遺伝子変異の解析をおこなった。

今回の検討では、収集されたDNAサンプルを用いて、高音急墜型21家系に対しては*KCNQ4*、*TECTA*、*DFNA5*、*COCH*遺伝子の解析を、皿型23家系に対しては*TECTA*遺伝子の解析を、低音障害型24家系に対しては*WFS1*遺伝子の解析を行った。（図7）

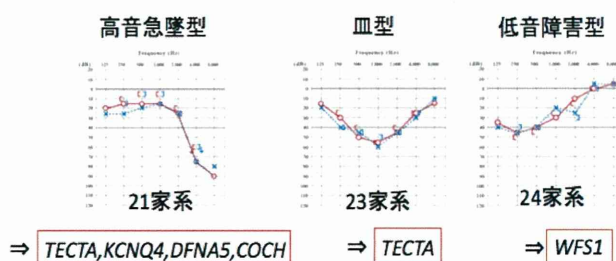


図7 聴力型に基づいた遺伝子解析

高音急墜型 21家系に対しては *KCNQ4*、*TECTA*、*DFNA5*、*COCH* 遺伝子の解析を、皿型 23家系に対しては *TECTA* 遺伝子の解析を、低音障害型 24家系に対しては *WFS1* 遺伝子の解析を行った。

その結果、高音急墜型の聴力像を呈する21家系に対し*KCNQ4*、*TECTA*、*DFNA5*、*COCH* 遺伝子の解析を行ったところ、*KCNQ4* 遺伝子変異を21家系中6家系（28.6%）に認めた。*TECTA*、*DFNA5*、*COCH* 遺伝子に関してはいずれも変異を認めなかった。

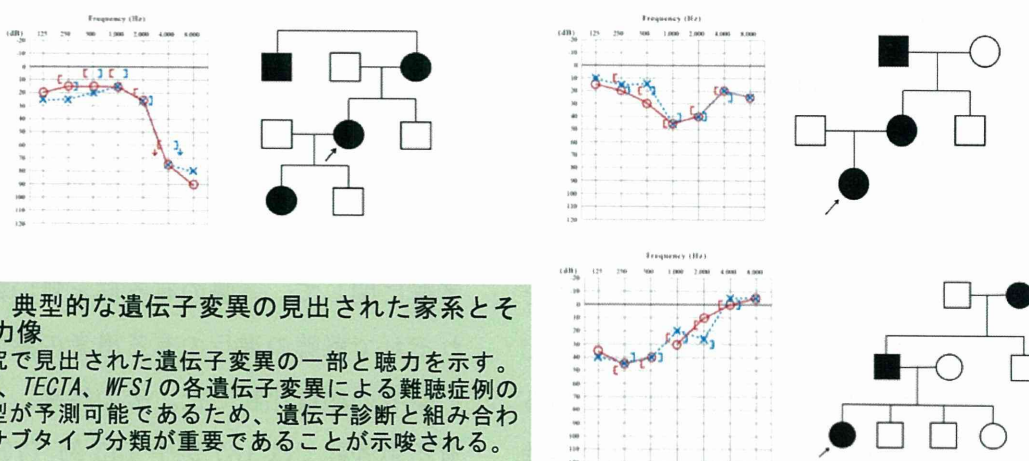


図7 典型的な遺伝子変異の見出された家系とその聴力像

本研究で見出された遺伝子変異の一部と聴力を示す。*KCNQ4*、*TECTA*、*WFS1*の各遺伝子変異による難聴症例の聴力型が予測可能であるため、遺伝子診断と組み合わせたサブタイプ分類が重要であることが示唆される。

皿型の聴力像を呈する23家系に対し *TECTA* 遺伝子の解析を行ったところ、*TECTA* 遺伝子変異を23家系中4家系 (17.4%) に認めた。

また、低音障害型の聴力像を呈する24家系に対し *WFS1* 遺伝子の解析を行ったところ、*WFS1* 遺伝子変異を24家系中4家系 (16.7%) に認めた。(各遺伝子の典型的な家系図、聴力像を図8に示す。)

見出された *KCNQ4* 遺伝子、*WFS1* 遺伝子、*TECTA* 遺伝子では変異の種類と臨床像の間に相関関係が認められており、重症度や予後の推測、適切な介入手法の選択には遺伝子診断が非常に有効であることが示された。

また、優性遺伝形式を取る遺伝性難聴家系数家系を用いて、次世代シーケンサーを用いた予備的な解析を行った。解析は既に難聴の原因遺伝子として国内外で報告のある遺伝子 (約100遺伝子) を Sure Select により選別して、塩基配列を決定する方法により実施しており、解析の進捗により成果が期待できる状況である。

## D. 考察

先天性難聴は新生児 1000 人に 1 人に認められる頻度の高い先天性障害のひとつである。特に優性遺伝形式をとる遺伝性難聴の場合、罹患者数が少なく希少であり、家系ごとに原因遺伝子や臨床経過が大きく異なるため、効果的な診断法および治療法は未だ確立されておらず、多くの場合発症メカニズムは不明である。また、進行性の難聴である場合が多く、長期に渡って生活面に支障を来す。さらに、優性遺伝形式で遺伝するため、再発率 (次の世代に難聴が遺伝する確率) が 50% であることより、患者の心理的負担が非常に大きいため、診断法・治療法の開発が期待されている。

本研究では優性遺伝形式をとる遺伝性難聴患者を対象に、難聴の経過や随伴症状などの臨床情報および治療実態の調査を行いデータベース化することで、優性遺伝形式をとる遺伝性難聴患者の実態把握と治療法確立のための基盤整備を行うとともに、原因の特定、発症メカニズムの推定、適切な治療法を開発するための基盤となる遺伝子

バンクを構築することを目的に研究を実施した。その結果、優性遺伝形式をとる遺伝性難聴の臨床像および治療法の把握が行われその実態をかなり明らかにすることが出来た。

特に、従来より経験的に優性遺伝形式をとる遺伝性難聴の患者では難聴の程度が比較的軽度であり、かつ進行性の難聴である場合が多いために、相対的に難聴発見年齢がおくることが指摘されていたが、調査データを基に科学的に優性遺伝形式をとる遺伝性難聴の臨床的特徴を明確にすることができたと考えられる。

- ・ 発見年齢が遅れること（優性遺伝形式をとる遺伝性難聴の患者の発症時（難聴発見時）の平均年齢は 23.0 歳であり、難聴患者全体の平均 20.3 歳と比較して有意に遅れる傾向にある  $p=0.006$ ）
- ・ 難聴が軽度であること（優性遺伝形式をとる遺伝性難聴の患者の 4 分法の平均聴力は 58.2dB（標準偏差 25.7dB）であり、難聴患者全体の平均 65.2dB（標準偏差 29.4dB）より有意に難聴の程度が軽い  $p=0.00004$ ）。
- ・ 進行性の難聴の割合が多い（優性遺伝形式をとる遺伝性難聴患者の 54%が難聴の進行の自覚があり、難聴患者全体の 46%と比較して進行性の難聴の割合が多い  $p=0.00002$ ）。

また、随伴症状に関しては耳鳴に関して

は、優性遺伝形式をとる遺伝性難聴患者の 48%が耳鳴の自覚があり、耳鳴を随伴する割合が高い傾向があることが明らかとなった。（ $p=0.058$   $\chi^2$ 検定）。非常に興味深いことに、優性遺伝形式をとる遺伝性難聴患者群に関して、耳鳴の有る群と無い群のそれぞれで難聴の進行の有る患者の頻度と無い患者の頻度比較した。その結果、耳鳴の有る患者群では 187 例中 145 例（77.5%）に難聴の進行が認められたのに対して、耳鳴の無い患者群では、難聴の進行が 107 例中 48 例（44.8%）と有意に頻度が低く（ $p<0.000001$   $\chi^2$ 検定）、進行性の難聴のケースでは耳鳴を随伴することが示された。このことより難聴の進行（進行のメカニズム）と耳鳴の間に何らかの相関があることが改めて示された。

一方めまいの併発の頻度が低い理由として、難聴の進行が 1 年に 2dB 程度の比較的緩やかな進行の経緯を辿るため、前庭機能の機能低下があっても、徐々に機能低下が起こるために、中枢での代償が行われ結果的にはめまい症状を伴わないものと考えられる。

また、治療法に関しては難聴の程度が軽度～中等度難聴が多いため、大部分が補聴器を使用しており、人工内耳装用者は 4.5%と少なかった。今回、調査した範囲内では補聴器・人工内耳の装用効果はおおむね良好であった。また補聴器装用患者の補聴器総用後の聴力レベルはおおよそ 39.3dB ± 10.8dB であり、おおよそ音声言語獲得のために必要なレベルの聴力までの補聴は出来