

新しい補聴器とその臨床応用 —ノンリニア補聴器を中心に—

立 入 哉*・吉 野 公 喜**

ようやく「すべての聴覚障害児は補聴器を装用する」というのが、当たり前のことになってきている。このことは、様々な新しい技術により補聴器の開発により、聴覚障害児の様々な聞こえの様相に即した補聴が可能になったことに寄るところが大きい。

昨年、非直線的増幅特性を持つノンリニア補聴器が、日本でも紹介された。この補聴器は、従来のリニア補聴器にない増幅特性を持つことから、その臨床応用が慎重に検討されていたが、症例が集まるに連れ、この補聴器によって聞こえの向上が計れることが明らかになってきた。

本論では、ノンリニア補聴器についての解説と、欧米での臨床応用の実際、これらを踏まえた上での国内での臨床応用例を紹介し、ノンリニア補聴器の適応について、考察した。

キー・ワード：聴覚障害児 補聴器 ノンリニア補聴器

I. 研究の目的

さまざまな補聴器が開発され、多くの子どもが補聴器による補聴が可能になった。こうした補聴器装用児者の裾野の広がりや、補聴器をその限界近くで使う場合を増やす結果になり、そうした経験から補聴器の限界も鮮明になりつつある。その対策として補聴面に要請された動きとしてあげられることは、1つは人工内耳の臨床応用であり、もう1つは従来の補聴器に新技術を投入し、従来の補聴器の欠点を補おうとする動きである。

近年、画期的新技術として、非直線的増幅特性を持つノンリニア補聴器が開発された。昨年、日本にも紹介されたが、この補聴器は従来の補聴器の増幅特性と大きく異なるために、従来の補聴器のフィッティング法とは違う視点が求め

られている。

本研究では、ノンリニア補聴器に対して解説を加え、さらに欧米の臨床応用例の文献を紹介する。加えて、そうした流れを踏まえて実施された臨床応用例を紹介する。そのことで、ノンリニア補聴器の聴覚障害児教育現場での利用について検討する。

II. ノンリニア補聴器の登場背景

従前より、聴覚障害児者には個人用補聴器を装用指導することが行われてきた。しかし、装用児者によっては、聴環境によって、補聴器の装用を拒否することがある。そうした装用児者は、個人用補聴器の課題として、以下の3点を求めることが多い。

- ① 騒音下での聞き取りの向上
- ② うるささの不快感なく小さな音を聞き取る
- ③ 距離的に離れた音源からの音の聴取の向上

*教育研究科

**心身障害学系

会話音と雑音を同時に同じ音圧で増幅するタイプの補聴器では、例えば、より小さな音を聞き取れるようにするために、補聴器の出力を上げると、大きな音も増幅されてしまい「やかましさ」が伴ったり、雑音も増幅され、かえって聞き取りにくくなるという事態を招く。こうした理由で、騒音下で会話を聞き取ることに、補聴器装用者の多くが困難を感じている。

これらの解消のために、両耳補聴・指向性マイクの利用・話者に近づくなどの対処的方法で、雑音を低減しようとする方法がとられてきた。しかし、これらの方法は、補聴器装用者が意識して能動的に対応する必要が求められる。つまり、聞き取りの向上を聴覚障害者自身の聴能的発達に託すしかなかった。

そうした中、数年前から一部の補聴器に、ASP (Automatic Signal Processing) 回路が搭載されてきている。これは、低域雑音のレベルにあわせて、低音域の補聴器ゲインを下げ、さらにすべての周波数にわたって強大音を圧縮する回路である¹⁾。しかし、音の圧縮によって、すべての周波数にわたってゲインを小さくするために、小さな音の明瞭度が下がるという問題があった。Hall と Jacobs (1991)は「ASP 回路は、大きく変動するような聴取環境でのピッチ情報に応じて聴覚障害者が欲するゲインや出力に²⁾ 応えられないという限界がある」と指摘している²⁾。さらに聴覚障害児に、ASP 回路付きの補聴器を装着させても、聴感上でも「音が浮く」と訴えることが多く、子どもによっては使用が困難であった。こうした問題は、入力音に対して、同じ増幅量を与える従来形アンプを使用する上で、解消できない問題である。

そこで、「やかましさ」の排除と、低音域を中心として騒音の排除のために、新たな増幅特性を持つ補聴器の開発が急がれた。

III. ノンリニア増幅の補聴器の特徴

従来の補聴器は、小さい音も大きな音も直線的に増幅するアンプを用いていた。それに対し、最近開発された K-AMP とかマルチ・フォーカ

スと呼ばれるアンプを搭載した補聴器は、小さい音を増幅する一方で、大きな音は増幅しないという非直線的な増幅特性を持つ。

1) K-AMP

K-AMP は、M. C. Killion によって、1990 年に発表された³⁾。下図 (Fig. 1) で、10 dB のゲインを持ったリニア補聴器は、入力音の音圧にかかわらず 10 dB 分、音を大きくして出力する。つまり、

$$\text{入力音圧} + 10 \text{ dB} = \text{出力音圧}$$

という比例関係が成り立つ。

これに対し、K-AMP アンプ補聴器は、入力音の大きさでゲインが変わる。40 dB の音は 20 dB 増幅し (stage 1)、ある入力音からはコンプレッションをかける (stage 2)、大きな音は増幅せずに、入力音をそのままを出力する (stage 3)。

$$\text{入力音圧} + \text{可変ゲイン} = \text{出力音圧}$$

となり、直線 (比例) 関係は成り立たない。

Killion は、TILL (Treble Increases at Low Levels: 小さな入力に 3 倍増幅) という言葉を用いて、K-AMP を表現した。さらに、K-AMP は不快閾値が低い難聴者、聴環境が常に変動する難聴者、ノイズが大きい環境にいることが多い難聴者に適用できると主張している。大きな音の入力時にはオーバーオール・ゲインが自動的に抑えられるために、すべての聴環境で耳に

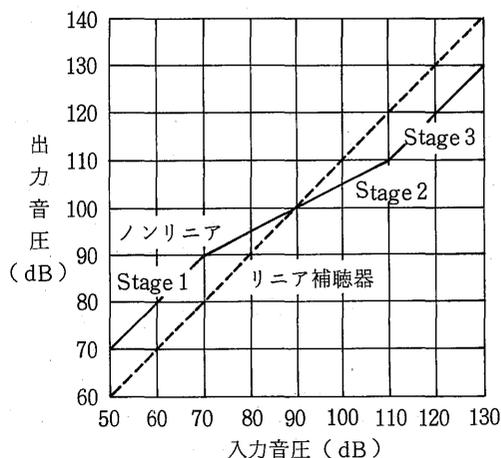


Fig. 1

届く歪みを抑えることができる。Killionによれば「K-AMPは、110~115 dB SPL以上の入力でも歪みが生じないように設計されている。多くの補聴器回路はボリュームが最小の位置でも、90 dB SPLまでの入力しか考慮されていない。多くの音のピークは、90 dB SPLを越えるために、歪みが生じ、問題となるのである」と述べている。

このK-AMPの特徴によって、以下のような効果を生むことができる。①小さな音をより増幅するので、小さな音でも良く聞こえるようになる。②小さな音が良く聞こえる割に、大きな音はごく自然な大きさに聞こえる。③大きな音が入力されても、増幅されないため、歪みを起こすことがない。

2) マルチ・フォーカス

マルチフォーカスアンプは、1981年、Lundh⁴⁾によって基本原理が発表されたノンリニアアンプである。

K-AMPは入力音圧が比較的低い場合、高音域により大きなゲインを付加するのに対し、マルチ・フォーカスは、入力音圧が低い場合、低音域により大きなゲインを確保する。K-AMPがシングル・チャンネルによるコンプレッションアンプを持つのに対し、マルチフォーカスでは、2チャンネルのAGC (Automatic Gain

Control) アンプが中心になっている。このようにアンプの増幅特性がノンリニアであることは同じだが、増幅方法は異なる。Fig. 2は、マルチフォーカスアンプを閾値 60 dB、不快閾値 120 dB の聴覚障害者に適応した場合のゲイン設定を例示したものである⁵⁾。リニア補聴器に比べ、小さい音はより大きく増幅し、大きな音はあまり増幅しないノンリニアの増幅特性が読みとれる。マルチフォーカスアンプは、AGCが自動的にゲインを設定するために、ボリュームがなく、またよりノンリニアである。

IV. アメリカでのノンリニア補聴器の臨床適応

Knight (1992)は、K-AMPについて臨床での適応結果を報告している⁶⁾。

この研究では、4段階評価(悪い・普通・良い・大変良い)で、K-AMPに対する総合的性能と明瞭と、8つの聴環境での被検者が従来から使用していた既用の補聴器の性能との比較を、質問紙方式で問っている。

研究では、少なくとも2年以上補聴器装着経験がある40人の感音性難聴者を対象にしている。被検者の内26人は両耳装着、14人は片耳装着であった。被検者に、K-AMP補聴器と既用の補聴器とが、以下の聴環境下でいかにうまく動作するかを評価させた。1) レストランの中、2) テレビの音、3) 礼拝堂、4) 劇場または講演会場、5) 車中、6) 音楽鑑賞時。さらに被検者に、それぞれの補聴器について、総合的な音声の明瞭度と性能を評価させた。性能についての評価は、「悪い・普通・良い・大変良い」の4段階評価で行った。また、被検者がK-AMP補聴器と既用の補聴器のどちらをより好むかも同時に示すよう求めた。

結果を Table 1・Table 2・Table 3 に示す。

K-AMPは、それぞれの聴環境下で、少なくとも63%の割合で、「良い」または「大変良い」という回答を得られた。従来から、語音明瞭度を補聴器の評価法として取り上げることが多いが、聴覚障害者がこれらの補聴器を主観的に受け入れたことは熟考すべきだ。大沼(1992)は、

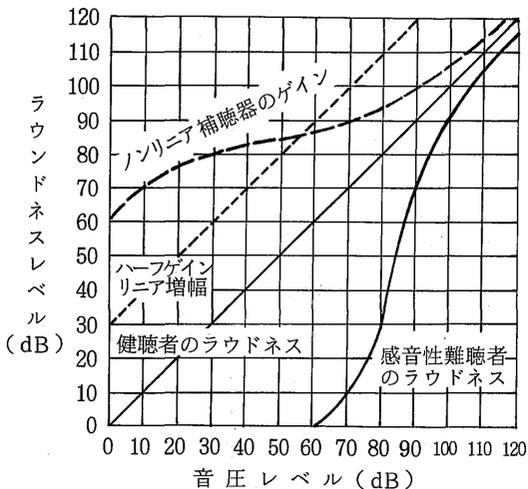


Fig. 2

Table 1 両耳・片耳装用者別の被検者の補聴器の好みの表出

	K-AMPを好む	既用補聴器を好む	どちらとも言えない
両耳装用者 (n=26)	61% (n=16)	23% (n=6)	15% (n=4)
片耳装用者 (n=14)	42% (n=6)	35% (n=25)	21% (n=3)

Table 2 各聴環境で「良い」または「大変良い」という評価を下した補聴器の割合(%)

	レストラン	テレビ	礼拝	劇場	車内	音楽
K-AMP補聴器	67.5	65.0	81.8	63.3	69.7	81.1
既用リニア補聴器	35.0	30.0	30.3	50.0	48.7	67.6

Table 3 総合的評価について「良い」または「大変良い」という評価を下した補聴器の割合(%)

	明瞭度	総合的評価
K-AMP補聴器	75.5 (n=31)	77.0% (n=31)
既用リニア補聴器	57.5 (n=23)	51.4% (n=18)

補聴器のフィッティングにあたって、主観的比較法の重要性を主張している⁷⁾。語音明瞭度を向上させようと、高音域のゲインを上げると、「キンキンした音が聞こえる」として装用者が拒否する場合がある。しかし、K-AMP補聴器が、主観的な聞きやすさと明瞭度の双方の面で支持されていることは、ノンリニア補聴器の開発意図が実現されていることを意味している。

Peterson (1993) は、マルチフォーカス補聴器を6~11歳の感音性難聴児8児(平均聴力30から76 dBHL)に適應した⁸⁾。マルチフォーカス補聴器の適應は、以前からの補聴器装用状態と同じ装用形態をとった。6児は両耳装用、1児は片耳装用、1児はBiCROS方式で、マルチフォーカス補聴器を装用した。すべての子どもは2年以上の補聴器装用経験をもっており、通常学級に在籍していた。子どもたちは、30~40日間、マルチフォーカス補聴器を装用し、その後、学級担任と両親に子どもの状態について12の質問と、教室か家庭内のどちらかの環境下について、それぞれ3つの質問を、さらに子ども自身

Table 4 両親と教室担任の回答の平均値

集団内での傾聴態度	6.00
個人指導での傾聴態度	5.92
口話の理解と模倣	6.25
質問への応答	6.12
一般的指示への応答	5.83
説明の指示を聞き直す程度	5.58
他の子どもの会話と反応	6.09
4 m以上離れた場所からの指示への応答	5.27
騒音下での指示の聞こえとその反応	5.45
視覚的手がかりがない状態での反応と理解	5.67
環境音の聞こえと反応	5.50
全体的な補聴器の受け入れ	4.08

Table 5 両親に対する質問の回答の平均値

電話のベルの聞こえ	5.63
電話を通してのコミュニケーション	4.50
普段と同じ音量でテレビが聞こえるか	5.75

に音質と快適さに関して5つの質問をした。ここでは、補聴器の性能比較のために、7段階の評定尺度を取り入れた(7:はるかに良い~4:変わらない~1:かなり悪い)。つまり、4以上のスコアは改善されたことを意味する。結果をTable 4~7にまとめた。

親と教師は、従来のリニア補聴器に比べ、マルチフォーカス補聴器に対し、主観的印象が向上したと答えた。子どもたちは従来の小型の補

Table 6 担任教師に対する質問の回答の平均値

言われた課題がこなせるか	4.50
教室で補聴器を積極的に活用する	4.25
教室で上手に発表ができる	4.00

Table 7 子どもからの回答の平均値

音質が好きだ	6.40
多くの場合、聞きやすい	6.00
騒音下でも聞きやすい	6.20
大きな音の快適さと音質	5.80
この補聴器を装用したい	3.20

聴器に比べて、マルチフォーカス補聴器のサイズは大きいですが、音質の良さや、補聴下の聞こえの良さゆえに、マルチフォーカス補聴器にかなりの好みを表出した。こうした結果は前出のK-AMP 同様の結果である。

V. 実際の臨床適応

前章のようなアメリカでの先行研究から、我々はノンリニア補聴器を実際の子どもに装用することを試験的に開始した。

1. K-AMP の適応例

Y.N. (5歳) は、発音不明瞭を主訴でA大学附属病院耳鼻咽喉科に受診。そこでの聴力検査にて、聴覚障害が指摘され、両耳感音性難聴との診断を受けた。オーディオグラムを Fig. 3 に示す。

Y 児は病院からの紹介で補聴相談に来学した。数度の聴力検査の上、左耳に K-AMP 内蔵の耳あな形補聴器を作製した (D社製 AK7: フルシェル形)。

補聴器を装用した状態での音場での閾値 (装用閾値) を Fig. 4 に示す。

(注: 図示されるファンクショナルゲインは、音場での音刺激を入力レベルとした時のゲインである。)

こうした高音急墜型のオーディオグラムを持つ聴覚障害児で、なおかつ聴覚障害の発見が遅れ

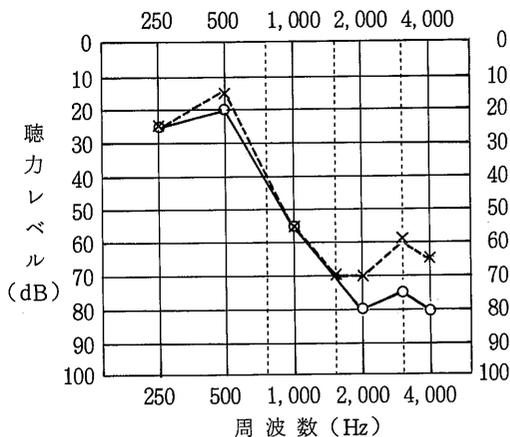


Fig. 3

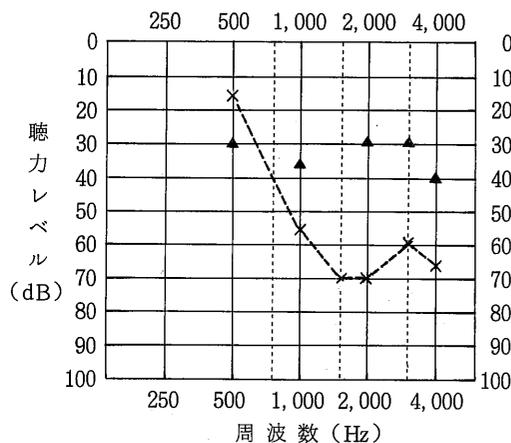


Fig. 4

た場合は、すでに可聴域である低音で語音を聴取する習慣ができていることが多く、当人に補聴器の必要性を実感させることが難しい。そのため、補聴器の装用をいやがるケースが多いが、本例では、補聴器初装用の最初 10 分ぐらいは違和感を訴えたものの、すぐに慣れ「良く聞こえる」と訴えた。「やかましき」を訴えることもなく、装用を開始した。

2. マルチフォーカスの適用例

O社のマルチ・フォーカス (パワー) を通常学校で学ぶ K.T. 児 (小学生 4 年生) に適応した。オーディオグラムを Fig. 5 に示す。K 児は通常小学校で学んでいる。通常小学校の教室には

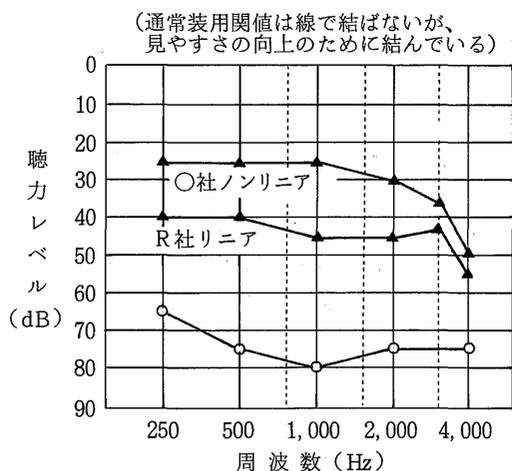


Fig. 5

Table 8 雑音付加時の単音節受聴明瞭度

	B/N	MTN
R社リニア	40%	12%
ノンリニア	82%	16%

雑音があふれているが、そうした雑音下での聞き取りに、マルチフォーカス補聴器が有利に働くかと考え、両耳にマルチフォーカス補聴器を適合させた。従来はR社の補聴器であったが、装用直後よりノンリニア補聴器に強い好みを示し、試験的に片側ノンリニア、片側にR社の補聴器を装用させたところ、電話での会話も普段とは異なるノンリニア補聴器側で行っていると報告を受けた。

補聴器適合用CD(TY-89)を使用して行った単音節受聴明瞭度検査の結果をTable 8に示す。特にマルチフォーカスの雑音抑制機能の働きを見るために、ノイズ付加状態で実施した。

500 Hzバンドノイズ付加時ではノンリニア補聴器時が良く、マルチトーカーノイズでは結果に差は生じなかった。

教室内の雑音には、イスを引く音などの低音域にパワーを持つ雑音と、友達のざわめきといったスピーチ性の雑音があると考えられる。前者のような雑音下での聞き取りの向上が期待

できることがわかった。

VI. まとめ

さまざまな社会環境下で、適切な補聴を得て、快適に生活することは、聴覚障害を持つ人々にとって、切実な願いである。S/N比の問題を効果的に処理できる補聴システムの改善として取り組まれた新しいノンリニア増幅回路は、騒がしい環境下で言語音を明瞭に聞き取るために一つの有効な方法であると予測できる。しかし、特殊な補聴器だけに、慎重な選定が必要と思われる。

以上を踏まえて現時点の評価を考えるならば、以下ようになる。①Killionは、K-AMP回路の対象者として、高音急墜型難聴をあげている⁹⁾。一般的に高音急墜型難聴に、従来のリニア補聴器を適合させるのは難しいとされている。それだけに、K-AMP回路は高音急墜型難聴に試みる価値がある。②マルチフォーカスは、装用者が問題としている雑音がどのような雑音であるかをあらかじめ調べ、その疑似ノイズを付加した状態でのスピーチの聞き取りを評価する必要がある。特にダイナミックに変化する補聴器ゲインを、装用者が「心地よい」と評価するか、「不快」と評価するかを、補聴器選定の重要な要素とするべきだと考える。こうしたノンリニアの補聴器の選定にあたっては、語音の明瞭度もさながら、装用者の主観的評価をルーチンに組み込む必要性を感じた。

毎年のように新しい補聴器が市販されている。このような新しい補聴器は、従来の補聴器に比べて、どのような利点があるのかを見極め、その利点を享受できる対象児に適切に適用することが、聴覚障害児の聞こえの確保には必要だと考える。

文 献

- 1) Buerkli-Halevy (1986): Hearing aid design parameters affecting performance in noise, *Hearing Journal*; 36 (2): 18-22.
- 2) Hall C. M. and Jacobs E. F. (1991): A review

- of a digitally programmable, full dynamic range hearing device. *Hearing Instruments*; 42 (2): 18-22.
- 3) M. C. Killion (1990): A high fidelity hearing aid, *Hearing Instruments*; 41 (8): 38-39.
 - 4) Lundh P. (1981): Field test for two-channel compression hearing aid. *Oticon Research Report*.
 - 5) Oticon A/S (1991): *Technical report on Multifocus Hearing Aid*, Oticon A/S, 1-24.
 - 6) J. K. Knight (1992): A subjective evaluation of K-AMP v. s. linear hearing aids, *Hearing Instruments*; 43 (10): 8-11.
 - 7) 大沼直紀 (1992): 補聴システムの種類とその機能・適用, 聴覚障害教育の手引き, 文部省, 276-279.
 - 8) M. E. Peterson (1993): Fitting children with multifocal hearing aids, *Hearing Instruments*; 44 (4): 33-35.

Nonlinear hearing aid and its clinical application

Hajime TACHIIRI, Tomoyoshi YOSHINO

In recent year, it has become usual that every hearing impaired child uses hearing aids. The development of new hearing aids based on various new technologies has made it possible for hearing impaired to have immediate and enough amplification against various aspects of their hearing impairment.

Nonlinear hearing aids which have non straight line amplification characteristics have been available in Japan since last year. Nonlinear hearing aids have large differences from linear hearing aids in amplification characteristics and clinical application has been carefully examined. As the cases gather, it has been proved that nonlinear hearing aids make hearing impaired to have better speech intelligibility and preference than with linear hearing aids.

In this paper, we touched the clinical application with refer to an actual explanation and application of the nonlinear hearing aids in the United States, and we tried to examine them.

Key Words : hearing impaired, nonlinear hearing aid, hearing aid