HOKKAIDO UNIVERSITY

Title	脳磁図から自閉症スペクトラムの聴覚情報処理過程を考える
Author(s)	渡辺, 隼人
Citation	北海道大学大学院教育学研究院紀要, 124, 81-91
Issue Date	2016-03-25
DOI	10.14943/b.edu.124.81
Doc URL	http://hdl.handle.net/2115/61002
Type	bulletin (article)
File Information	AA12219452_124 (9).pdf

Instructions for use

Hokkaido University Collection of Scholarly and Academic Papers : HUSCAP

北海道大学大学院教育学研究院紀要
第124号　2016年３月

脳磁図から自閉症スペクトラムの聴覚情報処理過程を考える

渡　辺　隼　人*

【要旨】 自閉症スペクトラム（Autism spectrum disorder，以下ASD）の聴覚情報処理過程について，脳磁図を用いた検討を紹介し，これらの検討を教育・臨床場面に活かす可能性について検討した。具体的には，M100と呼ばれる比較的早い段階での脳活動と，Default mode networkまたはFunctional connectivityと呼ばれる脳活動の同期性におけるASDの特徴が，ASDにおける非効率的な聴覚情報処理，特に入力情報の重みづけ（意味処理を含めた情報処理）の困難を示唆するものと考え，このような困難を背景とした支援方法の評価・提案を行う。特に，聴覚の過剰反応と反応低下が同時に生じることを説明するモデルを提案し，聴覚の過剰反応を抑制するために耳栓の使用をすることの有効性について論じる。また，言語獲得・運用能力の発達を促進するためのありえる方法について提案する。
【キーワード】自閉症スペクトラム，聴覚情報処理過程，脳磁図，聴覚過敏，言語獲得

【序論】

１．発達障害へのアプローチ

発達障害者支援法（文部科学省，2005）によれば，発達障害とは「自閉症，アスペルガー症候群その他の広汎性発達障害，学習障害，注意欠陥多動性障害その他これに類する脳機能の障害であってその症状が通常低年齢において発現するものとして政令で定めるもの」である。これらの発達障害には，様々な行動特性が存在し，その行動特性によってなんらかの生活上の困難が生じる。この生活上の困難にアプローチするための方法が様々に提案されている。この方法論については，行動特性があっても問題なく生活するための方法を考える手段，行動特性そのものを減少する方法を考える手段，そしてその行動特性が生じる原因について検討する手段が考えられる。

自閉症，アスペルガー症候群その他の広汎性発達障害に生じる問題として言語障害があり，一例としてこの言語障害によって生じる生活上の困難に対するアプローチについて検討する。第一の手段の例としては，言語障害という行動特性があっても，コミュニケーションが可能になるような方法を提供することが挙げられる。具体的にはハンドサインや文字言語の利用と言った代替コミュニケーション法の提供や，絵カードの利用による意思疎通といった方法が考えられる。第二の手段の例としては，言語障害そのものを軽減し，言語によるコミュニケーションが可能になるように言語聴覚的な療育を行う，言語障害を対象にした治療薬を開発するといった方法がありえる。第三の手段の例としては，言語障害が生じる背景として，どのような

* 近畿大学豊岡短期大学　講師
DOI：10.14943/b.edu.124.81

認知特性や中枢神経系の形成，神経伝達物質の異常が存在するかを心理学・生理学的手法を用いて検討する方法がある。

直接的に生活上の困難を軽減させることを目的とする第一，第二の手段と異なり，第三の手段ではその背景の調査が目的となっているため，一見すると生活上の困難へのアプローチからは遠い位置にあるようにも思われる。しかし実際には行動特性の背景を調査することによって，発達障害を持つ人がある局面でどのような行動を取るのかが予想できる可能性や，言語を用いることについてどのような主観的な困難を感じているのかについて予想できる可能性がある，結果としては第一，第二の手段をより当事者にとって有益な方法に改善することが可能になるのではないかと考えられる。

そこで，本稿では，自閉症，アスペルガー障害，その他の広汎性発達障害を持つ人の認知神経学的背景を心理•生理学的手法を用いて検討することで，どのように生活上の困難にアプローチしうるかについて，自検例に基づいて検討していくことを目的とする。

2．自閉スペクトラム症における聴覚情報処理過程

自閉スペクトラム症（Autism spectrum disorder, ASD）は，コミュニケーション及び社会性の障害と限局的・反復的な行動や興味関心（こだわり）によって定義される発達障害であり（APA, 2013），先述の発達障害者支援法における「自閉症，アスペルガー障害」におおむね相当するものである。コミュニケーション及び社会性の障害の診断基準には，さまざまなレベルでの通常の会話の成立困難を含む対人的情緒的操作の障害，対人相互的な非言語的コミュニケーションの障害，および状況にあった関係づくりの障害が含まれる。また，限局的・反復的な行動や興味関心の診断基準には，エコラリア（反響言語），同一性へのこだわり，著しく限局した興味，感覚刺激への過剰反応及び反応低下が含まれる。

これらの症状のうち，本稿では特に会話の成立困難や感覚刺激への過剰反応及び反応低下に特に注目する。会話の成立のためには言語獲得や言語運用が必要であるが，健聴者における言語の処理過程には聴覚情報処理過程が強く関与すると考えられ，したがって非定型な聴覚情報処理過程は言語獲得を阻害しうる。

ASDにおける聴覚刺激への過剰反応（過敏性）や音の高さに対する敏感さはしばしば報告される（Bonnel et al., 2003; Khalfa et al. 2004; Mottron et al., 2012）。同時に，臨床像として聴力には異常がないにも関わらずささやき検査への非応答が見られることや，大音量の音楽を好んで流すといった聴覚刺激への反応低下も見られる。これらの報告から，多くのASDにおいて非定型な聴覚情報処理過程が存在することが推測できる。しかし，具体的にどのような「非定型さ」が存在するかについては，未だ明らかになっておらず，神経生理学的手法を用いて，そのモデルが構築されることが期待されている。

3．脳磁図（Magnetoencephalography）とは

ヒトの脳神経系では，神経細胞の電気的な情報伝達（神経発火）が行われており，神経発火が比較的斉時的に生じているときには，神経生理学的手法で計測が可能である。特に，特定の事象が生じたとき（たとえば聴覚刺激の入力）の特有の脳活動記録を加算平均することで，成分と呼ばれる特有の電気的活動を観察できる。この電気的活動を計測する手法の一つが脳磁図である。脳磁図は，一斉に神経発火が生じたとき，そこに生じる電位変動に対して発生するご

く小さい磁場を計測し，記録する手法である。その他の神経生理学的計測手法と比べた際の脳磁図の特徴としては，神経細胞の頭表に対する角度に影響は受けるものの，脳のどこで活動が生じているかが比較的明瞭に分かることと，刺激入力から十分の一秒以下の非常に速い段階でヒトがどのように情報処理を行っているかを検討できることが挙げられる。本研究では，M100と呼ばれる脳地図成分を指標とした計測と，比較的長時間の持続的な脳磁図計測を用いた検討について取り扱う。

M100は，成人においては聴覚刺激入力後概ね100 ms後に最大振幅を示す脳磁図成分であり，その信号源は一次聴覚野付近である（Bruneau et al., 1997; レビューとして，Roberts et al., 2000）。そのため，比較的初期の聴覚情報処理過程を反映する成分であると考えられている。M100は音入力があるときにはほぼ必ず発生し，音に対する能動的注意を要しない成分である。したがって，聴覚課題を必要としないことから，持続的注意に困難を持ち，聴覚課題の遂行が困難な発達障害を持つ者においても比較的容易に計測が可能である。

M100はN1と呼ばれる脳波成分の磁気的対応物であると考えられており，振幅と潜時に関する以下の知見はN1研究から見出されたものであるが，概ねM100もN1と同様のふるまいをするものとして検討を進める。M100強度と振幅は，主観的な音の大きさに比例して増大と短縮が見られることが知られている。また，音の新奇性が高いときに，M100強度が増大し，潜時が短縮することも知られている。そのため，比較的初期の音に対する記憶処理との関係が指摘されている（Ohoyama et al., 2012）。さらに，発達初期（乳幼児〜学童期）では，潜時は長く，記録をするためには長い刺激間間隔（１秒以上）が必要だが，発達後期（青年期〜）には，潜時は短く（およそ100 ms），短い刺激間間隔（１秒以下）でも記録が可能になる（Carpenter & Shanin, 2013）。したがって，M100は発達的に変化する脳磁場成分であると言え，これらの発達的変化は，特に入力された聴覚刺激の記憶や弁別に関わる初期聴覚情報処理過程の効率化を反映していると考えられる。

また，課題を課さずに長時間持続的な脳磁図を計測し，その脳磁図における周波数律動の脳部位間の同期性を計測する手法がある。この手法により，Default mode network（DMN）あるいはFunctional connectivity（FC）と呼ばれる，脳部位間の活動の同期性が推定できると考えられている（Raichle et al., 2001; Raichle et al., 2007）。

【自閉スペクトラム症における脳磁図活動】

１．M100に関する検討

ASDを持つ子供の右半球において，M100の遅延が見られるとする報告（Roberts et al., 2010）に端を発して，ASDにおけるM100活動の特異性がいくつか報告されている。Matsuzaki et al.（2011）は，このM100遅延が感覚過敏を持つ自閉症の子供にのみ生じる結果を示し，M100がASDにおける聴覚の過敏性（過剰反応）という行動特性の背景機序に関連することを示唆した。発達に伴うM100の潜時短縮はおそらく聴覚情報処理の効率化を反映していると考えられるが，どちらの研究においても，ASD群特有のM100の遅延が見られること，およびRoberts et al.（2010）では，ASD群においてのみ，加齢にともなうM100潜時短縮が

見られなかったことを考えると，ASD群の聴覚情報処理過程は定型発達に比べて非効率的であることが推察できる。そこで，渡辺ら（2013）は，成人ASD群を対象にし，聴覚情報処理の非効率性は聴覚情報処理の発達が進行したあとも存在するかを検討した。その結果，図１（渡辺ら，2013より再掲）のように，ASD（図においては，PDDと表記）群において，両半球におけるM100潜時の遅延傾向と，明瞭な左半球の優位性（ASD群内での左半球におけるM100強度の増大と，定型発達（TD）群と比較した際の左半球のM100強度増大）が見られた。

M100潜時の遅延については，有意傾向であり，Roberts et al.（2010）やMatsuzaki et al.（2011）ほど明瞭には見られなかった。従って，ASD群の聴覚情報処理過程は，やや非効率な傾向は残っているが，発達に伴って効率化の進行は生じていることが推測できる。

左半球M100強度増大に関しては，ASDにおける特異的な音に対する注意（Poeppel, et al., 1996）を反映している可能性や，左半球における記憶痕跡の増強を反映している可能性があり，定型発達とASDの聴覚情報処理過程の差異を示す特徴である。この研究では４種類の周波数を用いていたため，左半球M100強度増大について更に検討することを目的に，各周波数における左半球M100強度を図示する（図２）。この図から推測できることは，ASD群とTD群のM100強度において，1000 Hz音については差が見られないが，TD群において1000 Hzとその他の周波数においてはM100強度の差が生じている（1000 Hzの活動増大による）ように見えるのに対して，ASD群においてはその差が縮小している（TD群に比べると，相対的に200, 300, 500 Hzの活動が増大していることによる）ように見えることである。

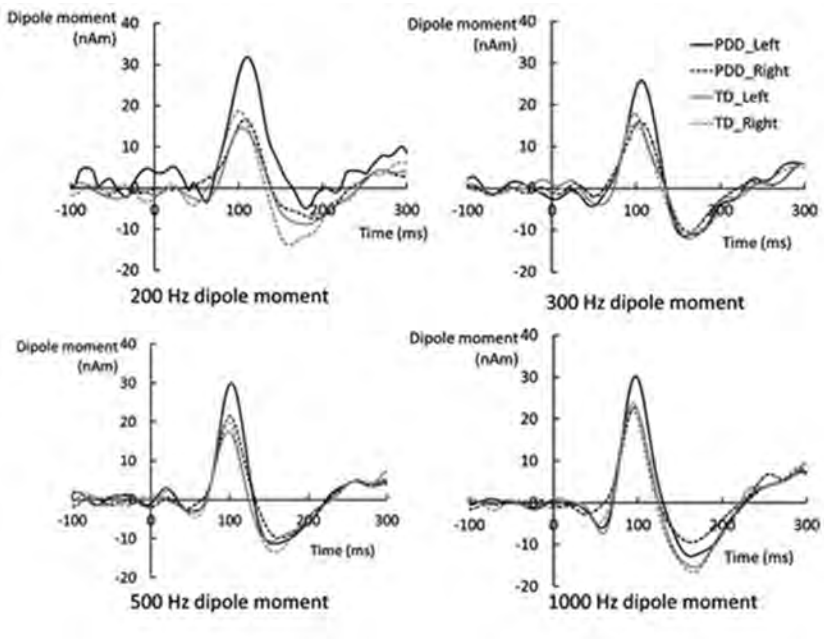

図１　渡辺ら（2013）による，
ASD（PDD）群とTD（typical development）群における周波数毎のM100活動

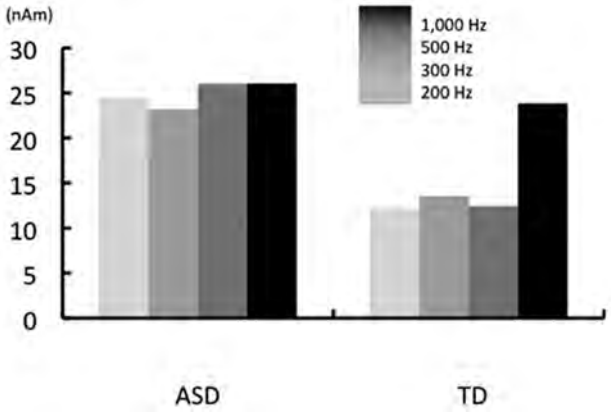

図２　４つの周波数に対するASD群とTD群のM100強度（左半球）

この結果が正しいとすれば，TD群においては等確率に提示される周波数においても，いずれかの周波数（この場合は1000 Hz）に対して重み付けられた聴覚情報処理がなされているのに対して，ASD群ではそのような重み付けのない，均等な処理がなされているということである。この推察が正しければ，成人ASD群においては，子供のASD群とは異なる形ではあるが，非効率的な聴覚情報処理がなされている可能性がある。

２．持続的な脳活動に関する検討

ASDにおける持続的な脳活動について，Brainstorm software（Tadel et al., 2011）を用いて，δ，θ，α，β，およびγ帯域における脳部位間の同期性を求めたところ，図３（豊巻ら，2013）に示すような結果が得られた。

これらの結果について，どのような統計的処理を行うべきかについてはまだ一貫した方針がないため，視覚的な推察によって検討するしかないが，以下のような点が注目に値する。どの周波数帯においても，TD群においては，ASD群よりも広範囲での脳部位間の同期が見られる。特に，TD群における前部帯状皮質と後部帯状皮質の同期は全周波数帯に見られる一方，ASD群においてはこの部位間の同期性はどの周波数帯にも見られない。

このことから推測できることは，能動的な情報処理を行っていない待機状態において，TDにおいては比較的広い範囲の脳領域がゆるやかに同期し，どの領域からの情報入力があっても効率的に情報処理ができるような準備状態を形成している可能性である。この前提に基づいてASD群の同期性を見ると，入力されたモジュールとその近傍にはおそらく活性化は生じるが，その入力情報の意味づけを行うための広範囲での情報伝達はあまり行われないか，近傍の脳領域を経由しないと同期が行われないと考えられ，こちらも非効率的な情報処理過程を反映していると言えるかもしれない。

しかしながら，この手法についてはデータ計測の方法や，統計処理についてまだ検討が必要なため，かなり推測が強いものとなっていることは留意しなければならない。

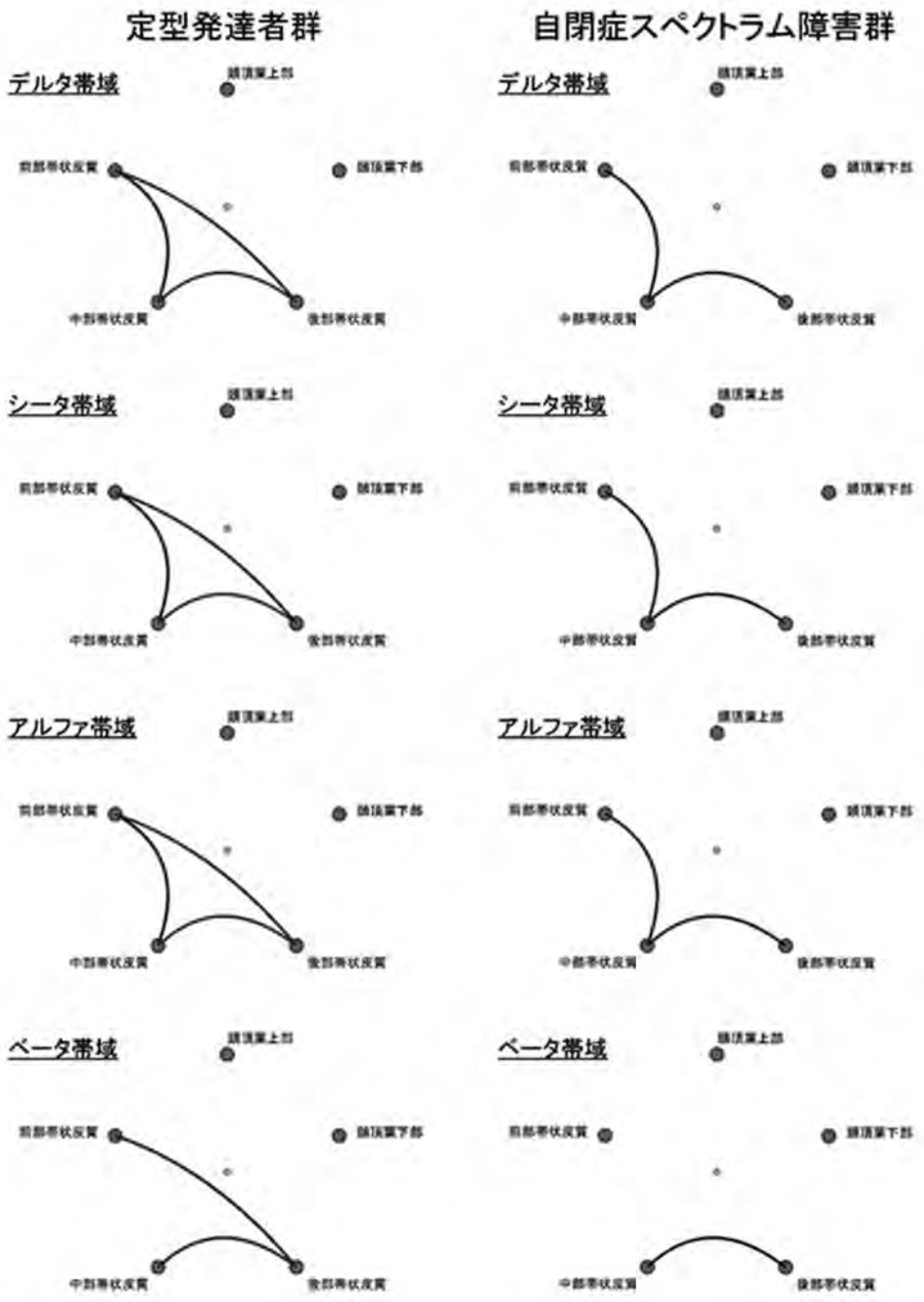

図 3　単純課題遂行時のTD群およびASD群のDMN

3．総括

ASDを対象としたM100研究の中にはM100のASD特異性を発見できなかったものも存在する（Lincoln et al., 1995; Oram Cardy et al., 2004; Oram Cardy et al., 2005a）。一方で，これまで述べてきたように，Roberts et al.（2010）のパラダイムを用いた一連の検討では，なんらかの形でASDの特異性が検出されており，このパラダイムがASDの聴覚情報処理過程特異性を検出しやすい特性を持っているものと考えられる。

M100潜時がASD群において遅延するという結果から，少なくとも聴覚過敏を持つASDの子供においては，非効率的な聴覚情報処理過程が存在することが推測できる。また，成人においても定型発達に比べてM100潜時が遅延する傾向が見られたことから，この非効率な聴覚情報処理過程は成人期にも残ることが推測できる。一方で，平均年齢が10.83歳のASD群を対象にしたRoberts et al.（2010）の検討では年齢に応じたM100潜時短縮は定型発達にのみ生じ，ASD群では生じないことを示したが，平均年齢が30.3歳であった渡辺ら（2013）の検討におけるTD群とASD群におけるM100潜時の差は有意傾向であったことから，おそらくASD群においても年齢に応じたM100潜時短縮は緩やかではあるが生じていることが推測できる。

M100強度について，Roberts et al.（2010）およびMatsuzaki et al.（2011）における子供を対象とした検討では，TD群とASD群に有意な差が見られなかったが，渡辺ら（2013）の検討では左半球有意なM100強度が見られたことから，成人に特異的なM100潜時帯の処理過程の異常が存在することが考えられる。比較的高年齢かつ高知能のASD群についての検討は少なく，この結果がどのような異常にかかわるかについては更なる検討が必要である。先に述べたように，音に対する注意配分の異常がかかわる可能性もあるし，左半球において増強された記憶痕跡が形成されている可能性もある（この可能性は，ASD群に絶対音感所有者が多いことを説明するかもしれない）。

M100の主要な信号源である側頭皮質領域において，ASD群では年齢に応じた皮質の変化が見られないとする報告（Raznahan et al., 2010）や，正常知能の自閉症群での特異的な皮質厚減少が存在するとする報告（Scheel et al., 2011）が存在する。これらの結果は，ASDにおいては発達に伴ってなんらかの補償的な神経回路が形成され，特に高知能のASDにおいては，年齢に応じて比較的明瞭な神経回路の変性が生じている可能性を示唆する。ASDにおけるM100強度とこれらの皮質の関係についての検討は今のところ発見できなかったが，興味深い知見である。

最後に，DMN（あるいはFC）における結果もASD群における特異的な神経回路の形成を示唆している。DMNの結果は，狭い範囲で強力な同期が生じる一方で，広範囲には同期が生じにくい神経回路の存在を示唆しており，この結果もまた，情報処理の非効率性を示唆するものと考えられる。

【展望】

これまでの検討から，ASDには非効率的な聴覚情報処理過程が存在するという推測を示した。Roberts et al.（2010）によるASDのM100検討では，幼少期のASDについては，一貫し

て聴覚情報処理効率の低下がみられており，バイオマーカとしてM100を利用することが提案されている。一方で，Matsuzaki et al.（2011）による検討によれば，この聴覚情報処理効率低下は聴覚過敏が存在する群においてのみ生じるとされる。従って，この非効率的な聴覚情報処理過程は必ずしもASD全体に共通するものではない可能性がある。これはASDにサブグループが存在するためであるかもしれないし，ASDを構成する中間表現型の一つに非効率的な聴覚情報処理過程が存在するためであるかもしれない。

そのため，幅広い臨床像を持つASD群に対してM100の検討を行うこと，および，ASDの行動上の特性を測定したうえで，M100遅延との関連を調査することが望まれる。ASDの行動上の特性としては，既にMatsuzaki et al.（2011）が示したような聴覚の偏奇（過敏性および減感作）に加え，聴覚情報処理過程との関連が考えられる言語能力についても計測することが考えられる。

また，渡辺ら（2013）では，ASDを持つ高知能の成人を対象に検討を行い，群・半球との交互作用はみられなかったが，ASD群においては周波数によるM100振幅の違いは小さいように見える結果を示した（図２）。この結果からASD群の聴覚情報処理過程における非効率性とは，情報の重みづけ処理の低下なのではないかということが推測できる。もしもこのような情報の重みづけが行われない，すなわち非効率な情報処理過程が存在するのであれば，ASD群における聴覚の過剰反応と反応低下が同時に存在することを説明できるかもしれない。渡辺ら（2013）の例から具体的に検討すると，低周波数帯（200，300，および500 Hz）音に着目したとき，ASD群の活動はTD群より増強しているように見え，これらの周波数帯については，ASD群の聴覚情報処理は「過敏」な処理をしていると考えられる。一方で，1000 Hz音とその他の周波数との差に着目したとき，TD群では1000 Hz音に対して増強したM100活動が見られ，従って1000 Hz音に対する認知処理はその他の周波数に対するよりも亢進することが推測できる。一方で，ASD群では，TD群とは差が見られないものの，他の周波数とのM100活動の差は小さく，従って1000 Hz音に対する特段の認知処理過程が生じないことが推測できる。そのように考えると，TD群は相対的に1000 Hz音に対して「過敏」に反応するが，ASD群ではこのような「過敏性」が見られず，従って相対的に1000 Hz音に対しては「鈍い」反応を示すことがあり得るのかもしれない。

我々の日常生活では様々な音の入力があるが，それらの音をすべて認知的に処理することはなく，重要な音（たとえば，言語音）のみをピックアップして処理するものと考えられる。このピックアップ処理は極めて強力なもので，従ってTD群は等確率で提示され，特に重要性が指示されていない四種類の音が提示されただけでも，その中で「重要」と思われる音に対して増強した処理が生じるのではないだろうか。一方，このようなピックアップ処理が行われていないと思われるASD群においては，日常生活での様々な音の入力をすべて同等に処理してしまい，結果的に言語音のような重要な音の処理が相対的に困難になるということがあり得るのではないだろうか。

上記の考察は，サンプルが少なく，またやや偏ったものであること（特に渡辺ら（2013）の検討は，高知能のASD群を対象としている），および統計的に有意な結果からの推測ではないことから，かなり思弁的である。したがって，これらの「理解」が本当に正しいものであるかについては更なる検証が必要である。しかし以下では，この思弁的理解に基づいたASDの支援・療育方策について検討しておきたい。

まず，入力された情報に対する重みづけの困難が存在すると仮定した場合，ASDを持つ人は，日々の生活の中で晒される様々な聴覚入力に対して，全て同等か，少なくとも定型発達よりは選択の働かない処理をしていることが考えられる。このことは，言語音に対する選択的な処理を阻害し，結果的に言語獲得を阻害し，言語運用に影響を及ぼすだろう。たとえば，発達初期においては，言語音に亢進した処理が行われないため，言語の獲得が障害される，または時間がかかるということが考えられる。また，ある程度の言語獲得が出来た後でも，個人間の言語音の聴覚要素の違い（男女の声の高さ）は無視した上で，個人内の言語音の聴覚要素の違い（イントネーションによって異なった意味伝達をしようとする際に，どの言葉を強調するか）あるいは文脈に応じた意味の違いを認識しなければいけないといった状況においては，自動的で強力な情報の重みづけが不可欠と考えられるが，このような情報の重みづけが出来ない場合，言語運用には多大な影響が生じるだろう。Yoshimura et al.（2013）は，意味のある音長の変化（たとえば，共感的な「ね」という音の変化）に対してASD傾向によって異なる反応を示すことを報告しており，言葉の「意味」による自動的な重みづけの失敗を示唆する結果と言えるだろう。

ここまでの検討では，定型発達者が強力かつ自動的な情報の重みづけが可能であることが前提であったが，それがなぜ可能になるのかを明らかにすることも必要である。これは極めて広範な脳機能の発達過程について取り扱わなければならないため，具体的な方針を定めることは難しいが，持続的な脳活動の計測・分析がその端緒になるかもしれない。DMNやFCの結果で示されたASD群に対するTD群の比較的広い範囲の同期性が関与する可能性がある。

最後に，具体的な支援・療育方法について，ここまでの検討に基づいた提言を行って本稿を終えたい。耳栓やイヤーマフで環境音を遮断する方法は，すでに多くの自閉症を持つ人に用いられており，その有効性が知られているが，これは外部装置を用いた情報の重みづけ（SNRの向上）を行っているとも考えられる。したがって，耳栓やイヤーマフ，あるいはノイズキャンセリングイヤホンを用いて不要な環境音の入力を低減し，学習を求めたい音声情報を大きい音量で流すことは，特に聴覚過敏性や減感差といった聴覚偏奇を持つASD群にとっては有効な方法であるかもしれない。

また，情報の重みづけが困難であると考えられることから，音声の揺らぎを最小限にした，明瞭な音声変化パターンを用いた言語学習も有効であるかもしれない。ヒトの音声言語の物理的パラメータは常に変動する。そのため，定型発達者では無視が可能な微細な変動であっても，ASDを持つ人は敏感にその変動を検出し，同じ意味であるが異なる物理的パラメータを持つ複数の音をまったく異なった音として処理してしまう可能性がある。このような処理過程の影響を低下させ，言語学習を促進させるために，録音した音声の反復提示のような，物理的パラメータの変動性を低下させた聴覚情報の利用が有効な可能性がある。この際には，音楽的な旋律の利用も検討可能であろう。一般に第二言語学習は日常生活の中での環境音からの受動的学習ではなく，録音を用いたり，文法的知識を先行して学習することから，高知能のASDでは逆に優位性が生じる可能性があることを付け加えておきたい。

いずれにせよ，脳磁場計測等による脳活動の計測や，行動レベルの変化など，様々な形式で評価を行う必要がある。本稿で示した自検例において，特に今後検討が必要だと思われる点は以下の通りである。ASDの子供において，M100潜時遅延のみが生じ，成人で見られた強度の差が見られないのはなぜなのか。渡辺ら（2013）の群が特異的（知能などの面から）であった

のか，ASD全体に見られる傾向であるのかについて，発達的な検討と，さらに広範なASDグループに対する検討が必要である。

また，このM100の特異性は，直接ASDの行動特徴と結びつくのかについては，まだほとんど明らかになっていない。行動特徴との関係が存在するとしたら，ASD診断や認知特性の算定に有益であるため，今後の検討が望まれる。

M100およびDMNの計測は，課題を要さず，比較的短時間に行うことができる。そのため，ASDをはじめとした発達障害を持つ人であっても，比較的計測が容易であると言える。これらの指標を利用した発達障害の背景に存在する認知的困難の理解と，そのような理解に基づく支援方法の開発が望まれる。

引用文献

American Psychiatric Association (2013). Diagnostic and statistical manual of mental disorders, Fifth edition.

Bonnel, A., Mottron, L., Peretz, I., Trudel, M., Gallun, E., & Bonnel, A. M. (2003). Enhanced pitch sensitivity in individuals with autism: a signal detection analysis, ***Journal of Congnitive Neurscience,*** 15(2), pp.226-235.

Bruneau, N., Roux, S., Guérin, P., Barthélémy, C., & Lelord, G. (1997). Temporal prominence of auditory evoked potentials (N1 wave) in 4-8-year-old children. ***Psychophysiology,*** 34(1), pp.32-38.

Carpenter, A. L., & Shanin, A. J. (2013). Development of the N1-P2 auditory evoked response to amplitude rise time and rate of formant transition of speech sounds, ***Neurosceince Letters,*** 544, pp.56-61.

Khalfa, S., Bruneau, N., Rogé, B., Gergieff, N., Veuillet, E., Adrien, J., Barthélémy, G., Collet, L. (2004). Increased perception of loudness in autism. ***Hearing Research***, 198(1-2), pp.87-92.

Lincoln, A. J., Courchesne, E., Harns, L., & Allen, M. (1995). Sensory Modulation of Auditory Stimuli in Children with Autism and Receptive Developmental Language Disorder: Event-Related Brain Potential Evidence. ***Journal of Autism and Developmental Disorders,*** 25(5), pp.521-539.

Matsuzaki, J., Kagitani-Shimono, K., Goto, T., Sanefuji, W., Yamamoto, T., Sakai, S., Uchida, H., Hirata, M., Mohri, I., Yorifuji, S., & Taniike, M. (2012). Differential responses of primary auditory cortex in autistic spectrum disorder with auditory hypersensitivity. ***Neuroreport,*** 23(2), pp.113-118.

文部科学省（2005）．発達障害者支援法.

Mottron, L., Bouvet, L., Bonnel, A., Samson, F., Burack, J. A., Dawson, M., & Heaton, P. (2012). Veridical mapping in the development of exceptional autistic abilities, ***Neuroscience Biobehavioral Reviews,*** 37(2), pp.209-228.

Ohoyama, K., Motomura, E., Inui, K., Nishihara, M., Otusuru, N., Kakigi, R., & Okada, M. (2012). Memory-based pre-attentice auditory N1 elicited by sound movement, ***Neiroscience***

Research, 73(3), pp.248-251.

Oram Cardy, J. E., Ferrari, P., Flagg, E. J., Roberts, W., & Roberts, T. P. L. (2004). Prominence of M50 auditory evoked response over M100 in childhood and autism. *Neuroreport,* 15(12), pp.1867-1870.

Oram Cardy J. E., Flagg, E. J., Roberts, W., Brian, J., & Roberts, T. P. (2005). Magnetoencephalography identifies rapid temporal processing deficit in autism and language impairment. *Neuroreport,* 16(4), pp.329-332.

Poeppel, D., Yellin, E., Phillips, C., Roberts, T. P., Rowley, H. A., Wexler, K., & Marantz, A. (1996). Task-induced asymmetry of the auditory evoked M100 neuromagnetic field elicited by speech sounds, *Brain response and cognitive brain response,* 4(4), pp.231-242.

Raichle, M. E., MacLeod, A. M., Snyder, A. Z., Powers, W. J., Gusnard, D. A., & Shulman, G. L. (2001). A default mode of brain function. *Proceedings of the National Academy of Sciences,* 98(2), 676-682.

Raichle, M. E., & Snyder, A. Z. (2007). A default mode of brain function: a brief history of an evolving idea. *Neuroimage,* 37(4), 1083-1090; discussion 1097-1089.

Raznahan, A., Toro, R., Daly, E., Robertson, D., Murphy, C., Deele, Q., Bolton, P. F., Paus, T., Murphy, D. G. M. (2010). Cortical anatomy in autism spectrum disorder: an in vivo MRI study on the effect of age, *Cerebral Cortex,* 20(6), pp.1332-1340.

Roberts, T. P. L., Ferrari, P., Stufflebeam, S. M., & Poeppel, D. (2000). Latency of the auditory evoked neuromagnetic field components: stimulus dependence and insight toward perception, *Journal of Clinical Neurophysiology,* 17(2), pp.114-129.

Roberts, T. P. L., Khan, S. Y., Rey, M., Monroe, J. F., Cannon, K., Blaskey, L., Woldoff, S., Qasmieh, S.,Gandel, M., Schmidt, G. L., Zarnaw, D. M., Levy, S. E., & Edgar, J. C. (2010). MEG detection of delayed auditory evoked responses in autism spectrum disorders: towards an imaging biomaker for autism. *Autism Research,* 3(1), pp.8-18.

Scheel, C., Rotarska-Jagicla, A., Schilbach, L., Lehnhardt, F. G., Krug, B., Vogeley, K., & tepest, R (2011). Imaging derived cortical thickness redution in high-functioning autism: Key regions and temporal slope, *Neuroimage,* 58(2), pp.391-400.

Tadel, F., Baillet, S., Mosher, J. C., Pantazis, D., & Leahy, R. M. (2011). Brainstorm: a user-friendly application for MEG/EEG analysis. *Computational Intelligence and Neuroscience,* 2011, 879716.

豊巻敦人・渡辺隼人・柳生一自・室橋春光（2013）．MEGによるfunctional connectivityの解析―Default Mode Networkモデルに関連したAutism Spectrum Disorderと定型発達の比較―，生理心理学と精神生理学，31(1)，pp.41-49.

渡辺隼人・横澤宏一・久住一郎・室橋春光（2013）．広汎性発達障害を持つ成人における聴性誘発磁場に関する検討，北海道心理学研究第36号，pp. 15-26.