

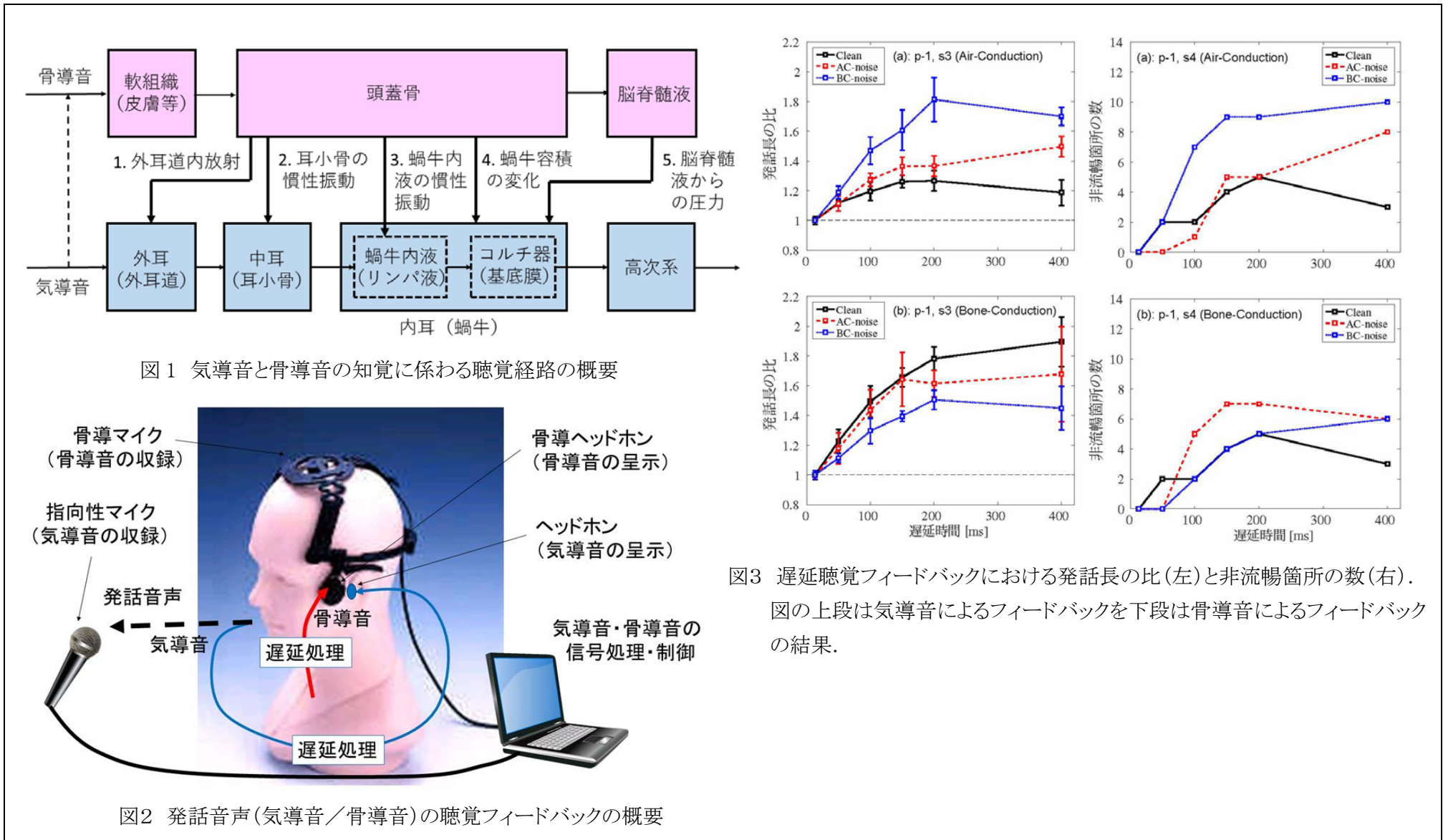
研究題目	聴覚フィードバックにおける骨導音知覚の役割とその応用	報告書作成者	鶴木祐史
研究従事者	鶴木祐史		
研究目的	<p>聴覚フィードバックは、音声生成におけるフィードバック情報の一つであり、私たちは自らの音を聴きながら、音声生成に係わる器官を制御して正しく発話している。例えば、音声生成と音声知覚のループ(言葉の鎖)において、雑音など外乱が混入したとしても、難なく発話することができるのは私たちが聴覚フィードバックを利用しているからである(ロンバード効果とも呼ばれている)。聴覚フィードバックの研究は多岐に渡る。代表的なものとして、遅延聴覚フィードバック(DAF)が知られている。DAFでは、自らが発声した音声を付与させ、それを聴きながら発声するときに音声発話にどのような影響がでるかが調査されてきた。その結果、200 ms程度の遅延を付与させた場合に、吃音のようになり、間延びした発声になったりと音声発話が困難になることがわかった。これは、発声したい音声の音響特徴と、実際に聞こえてくる音声の音響特徴が時間的にずれることによって脳がそれを補正して発話させようとした結果生じたものであると考えられる。</p> <p>私たちの音声知覚経路には、気導音の知覚経路の他に骨導音の知覚経路もある(図1参照)。前者では、空気を振動して伝搬される音が、外耳道を経由して鼓膜を振動させ、中耳の耳小骨を介して蝸牛に到達する。蝸牛では、その振動が蝸牛液内を伝搬した後、コルチ器にある基底膜に進行波と呼ばれる変位運動を生じさせ、その上にある受容細胞を興奮させ、さらにはその興奮が聴神経を経由して高次系(脳)へと伝えられ、音として知覚される。一方、後者では、いくつかの経路があることが知られている。一つは骨伝導により外耳道そのものが振動されることによって生じる振動音(外耳道放射)を知覚するものであり、もう一つは耳小骨連鎖から慣性振動として生じる振動音を知覚するものである。その他として、蝸牛そのものが振動することによって生じる音の知覚(蝸牛内液での慣性振動や蝸牛容積の変化によるもの)や脳脊髄液からの圧力によって生じる音の知覚もあると考えられている。</p> <p>これらの点を鑑みると、気導音の聴覚フィードバックを厳密に検討するためには、何らかの方法で骨導音知覚の経路を遮断しなければならない。従来研究では、ピンク雑音の呈示により骨導音をマスクすることでこの知覚を無視してきたが、その効果について精査されていないため、骨導音の知覚経路を完全に無視できるか不明である。一方、ロンバード効果では骨導音知覚が重要になる可能性が示唆されており、聴覚フィードバックでも重要な要因であると考えられている。そのため、聴覚フィードバックのメカニズムを解明するためには、気導音知覚だけでなく骨導音知覚にも主眼を置いた検討を行う必要がある。</p> <p>本研究の主な狙いは、自らの骨導音知覚が聴覚フィードバックでは重要な要因であるという仮説を立て、骨導音知覚が聴覚フィードバックにどのような影響を与えるのか調査することである。本研究では、聴覚フィードバックにて口から放射した音(気導音)の知覚だけでなく、頭蓋骨を経由して内耳に届く音(骨導音)がどのような経路をたどり知覚されるのか、また骨導音のフィードバックが発声にどのような影響を与えるか検討することを目的とする。</p>		

研究内容

聴覚フィードバックにて口から放射した音(気導音)の知覚だけでなく、頭蓋骨を経由して内耳に届く音(骨導音)がどのような経路をたどり知覚されるのか、また骨導音のフィードバックが発声にどのような影響を与えるか検討するために、(1) 気導音／骨導音を利用した遅延聴覚フィードバック(DAF)実験の実施、ならびに(2) 骨導音の知覚経路の検討を行った。

- (1) **DAF 実験の実施.** 正常聴力を有する日本人成人男性話者 3 名に対して DAF の実験を行った。図2のように気導音・骨導音を処理して話者にフィードバックした。実験は防音室内で行われた。話者の音声はマイクロホン(Sennheiser MHK 416 P48)からA/Dコンバータ(Roland QUAD-CAPTURE)を経由して、PC(LG Sharkoon with OS Ubuntu Studio 14.04 Linux)により収録された。サンプリング周波数は 44.1 kHz、量子化ビット数は 16 bits とした。PC 内で実験条件に応じて音声信号を遅延させ、オーディオインタフェースを経由してアンプ(audio-technica AT-HA5000)で増幅させた後、ヘッドホン(Sennheiser HD280)または骨導トランスデューサ(TEAC HP-F200)によって話者に呈示された。実験条件によって信号と同時にピンク雑音が付加された。ヘッドホンからの出力は音圧レベルで 80 dB になるように調整された。実験機構全体で 13.2 ms の潜時があることが確認されたため、音声への遅延操作にはこの潜時も考慮して調整された。話者には、遅延なし(潜時 13.2 ms)と5つの遅延時間(50, 100, 150, 200, 400 ms)の条件で一つの音声刺激(4 モーラ単語+助詞+4 モーラ単語、例えば、ホドホドのシャブシャブ)を連続で 30 回発話させた。これを 1 セットとして、4つの刺激につき各条件をランダムシャッフルして 4 セット行った。フィードバックは、気導音と骨導音の 2 種類として、ピンク雑音の呈示も気導音と骨導音の 2 種類とした。骨導音での DAF ならびにピンク雑音の呈示のときのみ耳栓をさせて、気導音のフィードバックをシャットアウトした。
- (2) **骨導音声の知覚経路の検討.** 音声の収録を防音室内で行った。側頭骨振動と外耳道内音声のスペクトル包絡を気導音声のものと比較するために、気導音声、側頭骨振動、外耳道内音声の収録を同時に行なった(図4)。これらの収録にはそれぞれマイクロホン(Sennheiser MHK416 P48)、プローブマイクロホン(ETYMOTIC RESEACHER-10C)、骨導マイクロホン(TEMCO HG70)を用いた。マイクロホンは話者の口唇から水平に 20 cm の距離に設置された。骨導マイクロホンは話者の左側頭部に接着され、プローブマイクロホンは話者の右耳に挿入された。収録機器からの音声信号は A/D コンバータ(Steinberg UR44)を経由して PC 上のソフトウェア(Steinberg Nuendo)により収録された。ここでは二つの音源を利用した。(i) 正常聴力を有する大学院生 7 名(男性 5 名、女性 2 名)に 31 語からなる英文をモニタに教示して自由な速度で英文を朗読してもらった。(ii) 正常聴力を有する大学院生(男性 6 名、女性 1 名)に加振器(Adafruit1985)を利用して母音を発声(自発発話をせずに母音の調音を保持してもらい加振器を利用して発声)してもらった(図6)。ここでは、喉頭から口唇・側頭骨・外耳道の各位置までの伝達関数(図4)を測定するため、長時間平均スペクトル分析を行い、喉頭の音源特性を補正して気導音声、側頭骨振動、外耳道内音声の伝達特性を求めた。また、骨導呈示音声の分析には耳閉塞効果の特性と骨導マイクの応答特性(図5)も考慮して補正した。

研究のポイント	<p>これまで、聴覚フィードバックの研究では、DAF に焦点が絞られ、音声発話に与える影響が調査されてきた。その結果、200 ms 程度の遅延がついた音声が話者にフィードバックされると吃音のような状況を引き起こすことがわかった。そのため、DAF の研究が吃音の問題克服に活用できるものと期待されている。しかしながら、聴覚フィードバックでは気導音声のみが着目され、我々が実際に発話するとき自らの音を聴く重要な経路(骨伝導経路)を軽視しているように見受けられる。骨導音知覚の影響を考慮した研究もあるが、ピンク雑音で骨導音をマスクする対策だけを練り、本当にそれがマスクされているかどうかまでは確認しないまま研究が進められている。本研究では、自らの骨導音知覚が聴覚フィードバックでは重要な要因であるという仮説を立て、骨導音知覚が聴覚フィードバックにどのような影響を与えるのか調査する。本研究のポイントは、聴覚フィードバックにて口から放射した音(気導音)の知覚だけでなく、頭蓋骨を經由して内耳に届く音(骨導音)がどのような経路をたどり知覚されるのか、また骨導音のフィードバックが発声にどのような影響を与えるか検討することである。</p>
研究結果	<p>(1) DAF の実験結果(図3)</p> <ul style="list-style-type: none"> ・気導音ならびに骨導音の DAF による音声発話への影響がみられた。特に遅延が 150～200 ms 付近でその影響が最大であった。 ・骨導音によるピンク雑音の呈示による効果から、気導音の DAF による音声発話への影響が大きくなった。しかし、骨導音の DAF による音声発話への影響は大きくなかった。これらの結果は、他話者においてもみられたが個人差があることがわかった。 <p>(2) 骨導音声の知覚経路の検討(図7, 図8)</p> <ul style="list-style-type: none"> ・側頭骨振動および外耳道内音声のスペクトル形状は母音の種類によりやや異なることがわかった。 ・喉頭から側頭骨への伝達では 2 kHz 以下の周波数成分が強調され、喉頭から外耳道への伝達では 1.5～3 kHz の周波数成分が強調される特性を持つことがわかった。骨導音声の 2 kHz 周辺の成分の知覚には外耳への伝達が寄与しており、それよりも低い成分の知覚には外耳以外への伝達が寄与している可能性が示唆された。
今後の課題	<p>DAF における骨導音知覚に関して、気導音／骨導音呈示による発話音声のフィードバックならびにピンク雑音によるマスクングの効果を検討した。その結果、話者自身の骨導音知覚から、DAF による音声発話への影響が大きいものであることがわかった。その影響の度合いは、話者による個人差があるため、話者数を増やした実験を行うなど、継続した検討が必要である。本検討では気導音知覚と骨導音知覚をまだ完全に分離して議論できていない。例えば、耳栓の利用により気導音知覚を遮断することはできたが、ピンク雑音の気導音／骨導音呈示によるマスクングの結果からわかるように骨導音知覚を完全に遮断できたわけではない。また、骨導音呈示による DAF では、骨導音が外耳道放射による気導音として知覚されることで生じた DAF の結果であることを否定できない。これらに関しては、気導音知覚における音響的特徴の検討や骨導音呈示方法の検討など注意深く検討を深め、DAF の実験方法を洗練化することで一つずつ解決していくことが必要である。</p>



(注:フローチャート図, ブロック図, 構成図, 写真, データ表, グラフ等 研究内容の補足説明にご使用下さい。)

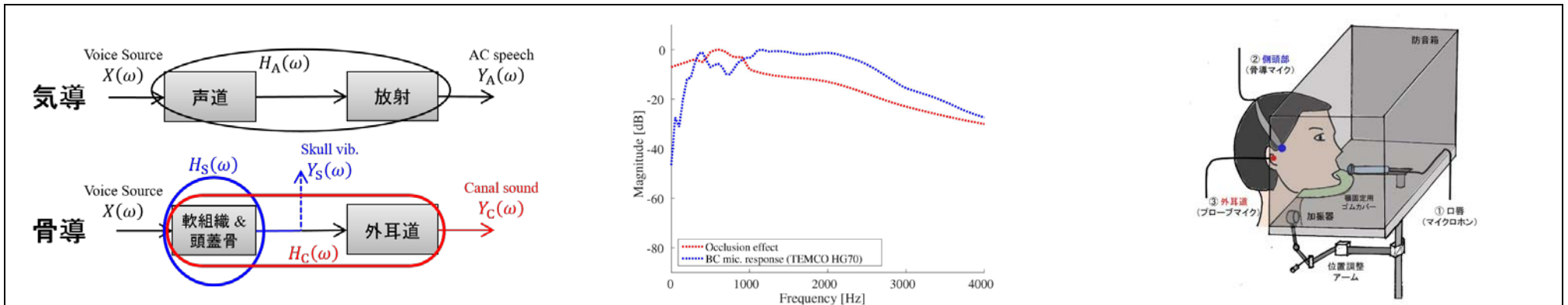


図4 喉頭音源から各測定位置までの伝達過程

図5 耳閉塞効果の特性と骨導マイクの応答特性

図6 実験装置の概略

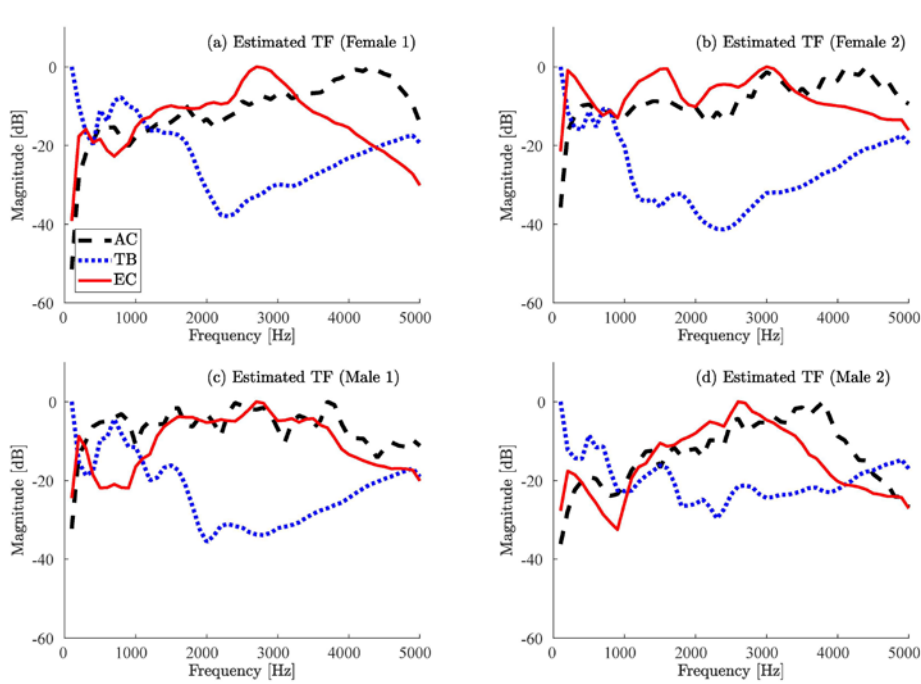


図7 音源特性を補正して推定された音声スペクトル(母音)

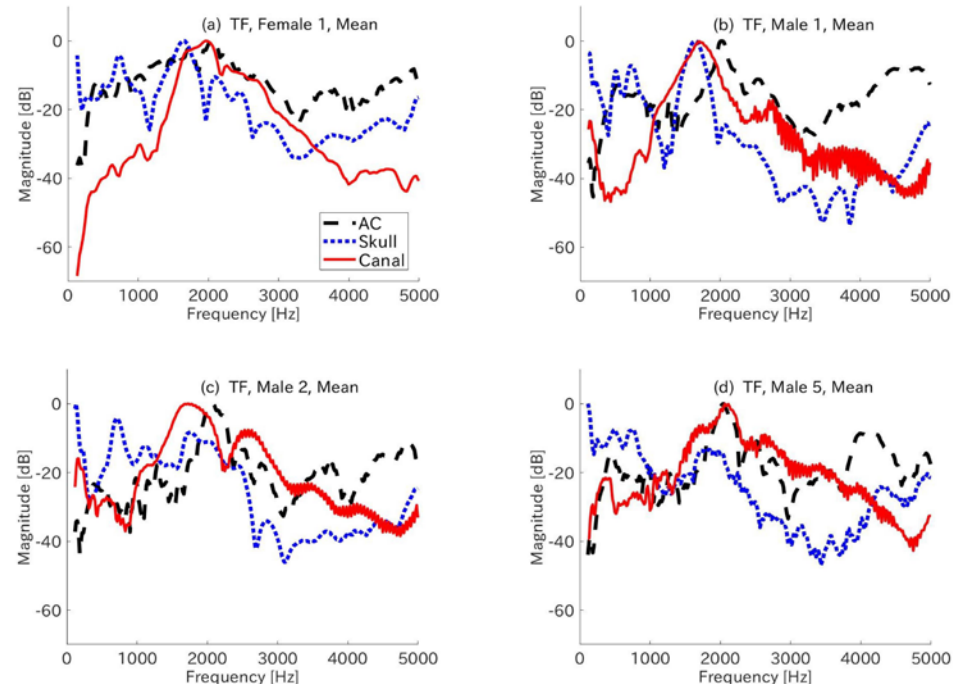


図8 音源特性を補正して推定された音声スペクトル(加振信号)

(注:フローチャート図, ブロック図, 構成図, 写真, データ表, グラフ等 研究内容の補足説明にご使用下さい。)