

## 聴覚的注意の空間特性の方向依存性に関する検討

富松 智志<sup>†</sup> 坂本 修一<sup>†</sup> 川瀬 哲明<sup>††</sup> Maria Chait<sup>†††</sup>

<sup>†</sup> 東北大学電気通信研究所 / 大学院情報科学研究科 〒 980-8577 宮城県仙台市青葉区片平 2-1-1

<sup>††</sup> 東北大学大学院医工学研究科 / 医学系研究科 〒 980-8575 仙台市青葉区星陵町 2-1

<sup>†††</sup> Ear Institute, University College London, 332 Gray's Inn Road London WC1X 8EE

E-mail: <sup>†</sup>satoshi.tomimatsu.s2@dc.tohoku.ac.jp, <sup>††</sup>saka@ais.riec.tohoku.ac.jp,

<sup>†††</sup>kawase@orl.med.tohoku.ac.jp, <sup>††††</sup>m.chait@ucl.ac.uk

あらまし 競合音が多数存在する環境下でも聴きたい音を分離して聴き取ることができる現象はカクテルパーティ効果として知られている。我々はこの現象の生起要因の一つである聴覚空間的注意に着目し、水平面における様々な方向へ向けた注意が他方向から到来する音の聴取に及ぼす影響を調べることを目的として研究を行った。実験は、多数の競合音（男性音声）を周囲から呈示した状態で、同じ水平面の様々な方向から呈示される女性音声を聴き取るタスクであり、注意を向ける方向を変化させたときの女性音声の聴取への影響を調べた。注意を向ける角度は0°～180°（右側）の30°ごと7方向とした。実験の結果、側方における聴取が注意方向により大きく影響されることが明らかとなった。特に、前方または後方に向けられた注意が側方から呈示される音声の知覚を大きく抑制することが示唆された。また、注意が形成する空間的なフィルタの形状が方向によって異なり、その幅は前方・後方と比べ側方では広いことを示唆する結果が得られた。

キーワード 聴覚的注意、空間的注意、音声知覚、カクテルパーティ効果

### Directional dependency of auditory spatial attention in the horizontal plane

Satoshi TOMIMATSU<sup>†</sup>, Shuichi SAKAMOTO<sup>†</sup>, Tetsuaki KAWASE<sup>††</sup>, and Maria CHAIT<sup>†††</sup>

<sup>†</sup> Research Institute of Electrical Communication and Graduate School of Information Sciences, Tohoku University 2-1-1, Katahira, Aoba-ku, Sendai, 980-8577 Japan

<sup>††</sup> Graduate School of Biomedical Engineering, Tohoku University 2-1, Seiryō-cho, Aoba-ku, Sendai, 980-8577 Japan

<sup>†††</sup> Ear Institute, University College London, 332 Gray's Inn Road London WC1X 8EE

E-mail: <sup>†</sup>satoshi.tomimatsu.s2@dc.tohoku.ac.jp, <sup>††</sup>saka@ais.riec.tohoku.ac.jp,

<sup>†††</sup>kawase@orl.med.tohoku.ac.jp, <sup>††††</sup>m.chait@ucl.ac.uk

**Abstract** We, humans, have the ability to extract one sound in an environment where multiple competing sounds exist. This phenomenon is commonly known as the cocktail-party effect. One factor of the cocktail-party effect is auditory attention. We focused particularly on spatial aspect of it, and investigated how attention to various azimuthal angles affects the performance of target sound extraction, especially when the directions of the attention and the sound source are different. In the experiment, listeners listened to female voices presented from various azimuthal angles under the presence of distractors (male voices). During the experiment, listeners were asked to attend to a certain direction, and the effects of the attention were examined. The direction of attention in each session was one of seven directions: 0° – 180° (right side), 30° apart. Results showed that listening in sides was largely affected by spatial attention. Attention to the front or the back significantly suppressed the listening of the target sound presented from the sides. It was also suggested that the shapes of the spatial filter formed by attention are different depending on the direction of attention; the filter is wider when attention is to the sides.

**Key words** Auditory attention, Spatial attention, Speech perception, Cocktail-party effect

## 1. はじめに

競合音存在下で聴きたい音を選択的に聴取するカクテルパーティ効果 [1] の生起には様々な要因が影響している [2]。我々はそのうち、聴覚的注意、特に音源の方向に対して向けられる注意が聴取に与える影響に注目している。Ebata *et al.* [3] は空間的な情報が純音の検知タスクに及ぼす影響は限定的だとした一方、Kidd *et al.* [4] は複数の競合音が空間上に存在する単語了解度試験をとおして、聴取タスクが複雑な場面では空間的注意の効果が大きくなることを示唆した。

ところで、聴覚的注意は空間のみに向けられるものではなく、周波数情報などにも注意が向けられ、その効果が報告されている。例えば Scharf *et al.* [5] は、特定の周波数に注意が向いた状態で雑音下での純音検知を行う実験により、注意を向けた周波数を中心としてある幅を持った注意の周波数フィルタが形成されることを示した。空間的な注意もこれと同様に、音源の方向を中心としてある幅を持った空間的なフィルタが形成されると考えられる。実際、Teraoka *et al.* [6] は水平面上に配置された競合音声の存在下における単語了解度の実験により、前方における空間的な注意が注意方向を中心として左右におよそ 30° 程度の幅をもつことを示し、空間的なフィルタの形成を示唆した。さらに、Teraoka *et al.* [7] は正面以外 ( $\pm 30^\circ$  と真後ろ) でも、概ね同様の傾向が見られることを報告した。しかし、この結果は側方などを含まない限定的なものであり、注意の空間的なフィルタの形状の全容は明らかではない。他にも聴覚的注意の空間特性に関する研究は多く存在するが、多くは正面方向での効果について調べたものであった。

一方、標的音と雑音の空間的な位置の違いを利用した分離知覚として方向性マスキング解除 (spatial release from masking, SRM) [8], [9] が知られている。SRM もカクテルパーティ効果に影響を及ぼすと考えられるが、SRM に関する研究はほとんどの場合、標的音が呈示される方向から雑音が呈示される方向を離していくことによる標的音の聴き取りの変化を調べているため、標的音の方向に聴取者の注意が常時向いていることになる。

そこで本研究は、競合音存在下において、水平面の全方向での聴き取りが、注意を向ける方向の違いによりどのような影響を受けるのかを明らかにすることを目的とした。

## 2. 実験方法

### 2.1 聴取者

SD 聴取者は正常な聴力をもつ日本語母語話者の成人 20 名 (男性 14 名, 平均 21.6 歳, SD=1.2) であった。本実験は東北大学電気通信研究所倫理委員会の承認を受け、聴取者全員のインフォームドコンセントを得て実施された。

### 2.2 実験装置および実験刺激

実験装置の概略図を図 1 に示す。実験は東北大学電気通信研究所本館 1F の無響室で実施した。スピーカを図 1 のように聴取者の正面方向を  $0^\circ$  として、周囲に  $30^\circ$  間隔で 12 個配置した。また、正面のスピーカの下に標的音教示用のディスプレイ

を配置した。

実験刺激は親密度別単語了解度試験用音声データセット (FW03 [10]) に収録されている 4 モーラ単語を話す男性音声と女性音声の中から、FW03 の縮小版である親密度別単語了解度試験用音声データセット 2007 (FW07 [11]) の単語リストに含まれるものを用いた。データセットは親密度ランクで 4 つ分けられており、親密度ランクが最高 (7.0~5.5) の 400 単語を用いた。

男性音声を競合音、女性音声を標的音・偽標的音とした。音圧レベルは聴取者の頭部中心で競合音が A 特性音圧レベル 55 dB、標的音・偽標的音が 52 dB になるよう調整した。

標的音・偽標的音のセットは母音が一致した 4 つの単語からなる (例: ウワバキ, クラヤミ, ツナガリ, ムダアシ)。このセットを実験用に 15 セット、練習用に 1 セット作成した。実験で標的音となる単語は、実験開始直前および実験中ディスプレイで教示した。競合音として使用した男性音声はデータセット全体から無作為に選ばれた単語であった (標的音・偽標的音となる単語を除く)。

### 2.3 実験手続き

刺激呈示のタイムパターンを図 2 に示す。各スピーカから男性音声 (競合音) または女性音声 (標的音・偽標的音) が 0-400 ms のランダムな間隔で呈示された。女性音声の間隔は 400-1600 ms のランダムな時間であった。女性音声は男性音声を置き換える形で呈示されたため、1 つのスピーカから同時に 2 つ以上の音声呈示されることはなかった。

聴取者は無響室内に設置された椅子に座り、呈示される音声を聴取した。聴取者には多数競合音が存在する環境下で女性音

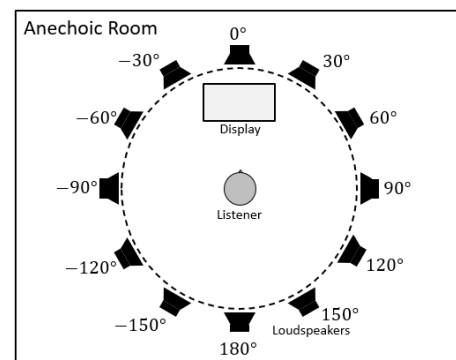


図 1 Experiment setup.

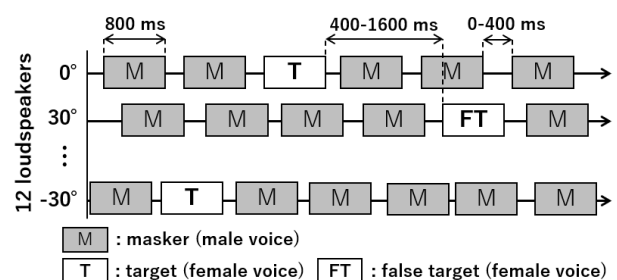


図 2 Time pattern of the stimuli.

声を聞き取り、それが標的音であるかどうかを回答するよう求めた。回答には PS4 コントローラを用い、呈示された音声は標的音であれば「○」を、偽標的音であれば「十字キー左」を押すよう求めた。標的音が呈示されたとき「○」を押した場合と、偽標的音が呈示されたとき「十字キー左」を押した場合を正答とし、正答数と標的音・偽標的音の呈示回数の比を正答率とした。また、実験中頭部および視線は正面を向けたまま動かさないうよう求めた。

本実験は聴覚的注意の空間特性を検討するため、特定の方向に注意を向けさせた条件（注意条件）と、そうでない条件（ランダム条件）で実験を行った。注意条件では、試行開始前に聴取者に注意を向けるべき方向を教示した上で、教示した方向から呈示される女性音声の回数を増加させることで注意が向き続けるよう仕向けた。具体的には、1 セッション中標的音・偽標的音は、注意方向から 60 回ずつ、他 11 方向からはそれぞれ 3 回ずつ、計 186 回がランダムな順番で呈示された。

注意方向は聴取者右側 7 方向（0°, 30°, 60°, 90°, 120°, 150°, 180°）とした。ランダム条件では、注意方向の教示はなく、各スピーカから標的音・偽標的音がそれぞれ 6 回ずつ呈示された。各聴取者、注意条件 7 方向を 2 回ずつとランダム条件 1 回の合計 15 試行を行った。15 試行には用意された標的音・偽標的音のセット 15 個をそれぞれ 1 回ずつ割り当て使用した。ここで、聴取者間で試行の順番および各試行に割り当てられる標的音・偽標的音セットのカウンタバランスをとった。なお、各条件、各方向でのデータ数をそろえるため、ランダム条件での呈示回数（標的音と偽標的音を 6 回ずつ呈示）を基準に、注意条件では、注意方向については 2 回のそれぞれのセッションにおいて標的音、偽標的音が最後に呈示された 3 回分ずつ、それ以外の方向については 2 回のセッションでの全ての呈示（1 セッションあたり標的音、偽標的音が 3 回分ずつ）を取り出して、標的音、偽標的音が 6 回分ずつ呈示されたデータとして分析を行った。

### 3. 実験結果

実験の結果を図 3 に示す。図は、ある方向の聴取を注意方向の関数として表している。なお正答率は arcsin 角変換した結果である。ここで、注意方向ではなく音声方向を固定したのは、SRM の影響を考慮せずに、注意の効果のみを分析することが可能となるためである。

右側の聴取においては、90° 以外の方向では注意方向と音声方向が一致したときに正答率がおよそ最大になり、音声方向に対する注意がその方向に対する音声の聞き取りを向上させることが確認できた。特に 30° と 150°（図 3 (b), (f)）ではその傾向が顕著であり、注意方向＝音声方向で聞き取りが最大で、そこから離れるほど低下する傾向を示した。ただし、他の方向では異なる傾向も見られており、0°（図 3 (a)）では、0° への注意で聞き取りが向上、90° で少し低下するのに対し、それ以外ではほとんど差が見られない結果となった。180° もこれに似た傾向を示し、注意方向が 180° のとき向上、側方（60°, 90°）で多少の低下が見られる他はほぼフラットな結果となった。ま

た、60°, 90°, 120°（図 3 (c)～(e)）では、前方および後方へ注意を向けた際の知覚が大幅に低下する傾向を示した。一方、左側（注意方向と逆側、図 3 (h)～(l)）では、ランダム条件と比較して注意条件における正答率の全体的な低下が見られた。

実験結果について注意（注意条件 7 方向+ランダム）と音声方向（12 方向）に対する 2 要因分散分析を行ったところ、音声方向要因（ $F_{11,209} = 15.3, p < .01, \eta_G^2 = 0.153$ ）、および交互作用（ $F_{77,1463} = 2.79, p < .01, \eta_G^2 = 0.046$ ）が有意となった。一方、注意の主効果は有意ではなかった（ $F_{7,133} = 1.87, p = .079, \eta_G^2 = 0.020$ ）。

各音声方向において注意の効果を見るために Shaffer の MSRB 法（5% 水準）による多重比較を行ったところ、音声方向 60° における注意条件 120° > 150° ; 90° における 120° > 0°, 30°, 150°, 180° ; 120° における 60°, 90°, 180° > 0°、が有意であった。また、音声方向 -90° においては、ランダム > 30°, 90° が有意であった。

### 4. 考察

本研究では、水平面における様々な方向への注意が他方向における聴取に与える影響を明らかにすべく、聴取者右側の 30° ほどの 7 方向の注意条件およびランダム条件で実験を行った。実験の結果、注意を向ける方向によって音声の聞き取りが変化し、その傾向は音声方向に依存することが示された。また、音声方向要因および音声方向 × 条件の交互作用が有意となった。

統計解析の結果、主に側方における聴取で注意を向ける方向の違いによる有意差が得られた。これは、前後方向に注意を向けることで、側方から到来する音声の知覚が低下していることを意味する結果であり、聴きたい音が前後（特に前）にあるとき、横から来る雑音から聴きたい音を分離する能力が高いことを示唆する。逆に注意の空間形状という観点から考察すると、60°～120° のグラフの概形が似ており、かつ、いずれも側方の広い範囲に注意の効果が見れている。Teraoka *et al.* [6] は前方での聴取において注意の効果は 30° 程度の幅をもつとする結果を得たが、本研究により側方では注意の空間形状が異なることが示唆された。

側方での注意の空間形状が異なる要因の一つとして、60°～120° で両耳間時間差（interaural time difference, ITD）および両耳間レベル差（interaural level difference, ILD）の変化が小さいことが考えられる。750 Hz において、ITD は 0° から 30° で約 0.3 ms 変化するのに対し、60° から 90° では約 0.1 ms であり、同じ 30° の変化でも側方のほうが変化量が小さい [8]。ILD も同様に、側方での変化量が小さいことが知られている [8]。また、聴覚的空間的な解像度を示す MAA（minimum audible angle）[12] との関係性も伺える。MAA は正面で 1° 程度であるのに対し、側方では 40° 以上になり、側方のほうが正面に比べ空間解像度が低い。このことは本実験の結果で側方における注意の空間形状があいまいになった結果と一致する。

また、有意差はなかったものの、0° の結果においても、注意方向 180° ではなく 90° で最も低下が見られた。これについても、0° に対して 90° が ITD, ILD 差を利用した弁別が最も容

易なことによるものと思われる。同様の傾向は  $180^\circ$  の結果にも見られるが、 $30^\circ$  および  $150^\circ$  では確認できなかった。ITD, ILD のみで完全に説明することはできないため、頭部伝達関数 (head related transfer function, HRTF) の周波数情報との関係についても検討を行う必要がある。

今回、空間的注意が前方および後方の聴き取りに与える影響について有意差は見られなかった。しかし、少なくとも前方については、先行研究により注意の効果が報告されている [3], [6]。以後、もう少しデータを増やし詳細な分析を行うとともに、実験方法の違いなども考慮に入れながら比較検討を進めたい。

## 5. ま と め

本研究では、カクテルパーティ効果の生起要因の一つである聴覚的注意の、特に音源の空間的な位置に対して向けられる注意に着目した。多数の競合音 (男性音声) 存在下で水平面の様々な方向から呈示される女性音声を聴き取るタスクにおいて、空間的な注意が及ぼす影響について検討した。

その結果、空間的な注意が、側方 ( $60^\circ \sim 120^\circ$ ) での聴取に特に影響を及ぼすことが確認された。特に前後方向に注意が向けられたとき、側方から到来する音の聴取が大きく低下した。これは、聴きたい音の音源が正面にある場合に、他方向から来る雑音から分離して聴き取るための処理がうまく行えていることを示唆する、カクテルパーティ効果に関する新たな知見である。

また、空間的な注意が形成するフィルタの形状が方向により異なることが示唆された。結果は、ITD, ILD, および MAA との関係性も見られた。しかし、音声方向  $30^\circ$  と  $150^\circ$  における結果は、他方向と異なる傾向を示し、ITD, ILD との関係だけでは結果をすべて説明しきれなかった。これは、空間的な注意に頭部伝達関数 (HRTF) の周波数的な情報も手がかりとしていることを示唆しており、今後検討を行っていく必要がある。

一方、前後方向における聴取と注意方向の関係が有意ではなかった。先行研究では前方における注意の効果は報告されている。前後方向における効果については、今後十分なデータ数を確保するとともに、必要なら前後方向に焦点を絞った追加の実験を行い、検討したい。

## 謝 辞

本研究の一部は、JSPS 科研費 19H04145 の助成を受けたものである。

## 文 献

- [1] E.C. Cherry, "Some experiments on the recognition of speech, with one and with two ears," *The Journal of the acoustical society of America*, vol.25, no.5, pp.975-979, 1953.
- [2] M. Ebata, "Spatial unmasking and attention related to the cocktail party problem," *Acoustical Science and Technology*, vol.24, no.5, pp.208-219, 2003.
- [3] M. Ebata, T. Sone, and T. Nimura, "Improvement of hearing ability by directional information," *The Journal of the Acoustical Society of America*, vol.43, no.2, pp.289-297, 1968.
- [4] G. Kidd Jr, T.L. Arbogast, C.R. Mason, and F.J. Gallun,

- "The advantage of knowing where to listen," *The Journal of the Acoustical Society of America*, vol.118, no.6, pp.3804-3815, 2005.
- [5] B. Scharf, S. Quigley, C. Aoki, N. Peachey, and A. Reeves, "Focused auditory attention and frequency selectivity," *Attention, Perception, and Psychophysics*, vol.42, no.3, pp.215-223, 1987.
- [6] R. Teraoka, S. Sakamoto, Z. Cui, Y. Suzuki, and S. Shioiri, "Effects of listening task characteristics on auditory spatial attention in multi-source environment," *Acoustical Science and Technology*, vol.42, no.1, pp.12-21, 2021.
- [7] R. Teraoka, S. Sakamoto, Z. Cui, Y. Suzuki, and S. Shioiri, "Effect of auditory spatial attention in rear side," Proc. 179th Meeting of the Acoustical Society of America, 3aPP8, 2619-2619 (2020).
- [8] A. W. Bronkhorst and R. Plomp, "The effect of head-induced interaural time and level differences on speech intelligibility in noise," *The Journal of Acoustical Society of America*, vol.83, no.4, pp.1508-1516, 1988.
- [9] K. Saberi, L. Dostal, T. Sadralodabai, V. Bull, and D. R. Perott, "Free-field release from masking," *The Journal of the Acoustical Society of America*, vol.90, no.3, 1991.
- [10] 天野成昭, 近藤公久, 坂本修一, 鈴木陽一, 親密度別単語了解度試験用音声データセット (FW03), <http://research.nii.ac.jp/src/FW03.html>.
- [11] 近藤公久, 天野成昭, 坂本修一, 鈴木陽一, 親密度別単語了解度試験用音声データセット 2007 (FW07), <http://research.nii.ac.jp/src/FW07.html>.
- [12] A. W. Mills, "On the minimum audible angle," *The Journal of Acoustical Society of America*, vol.30, no.4, pp.237-246, 1958.

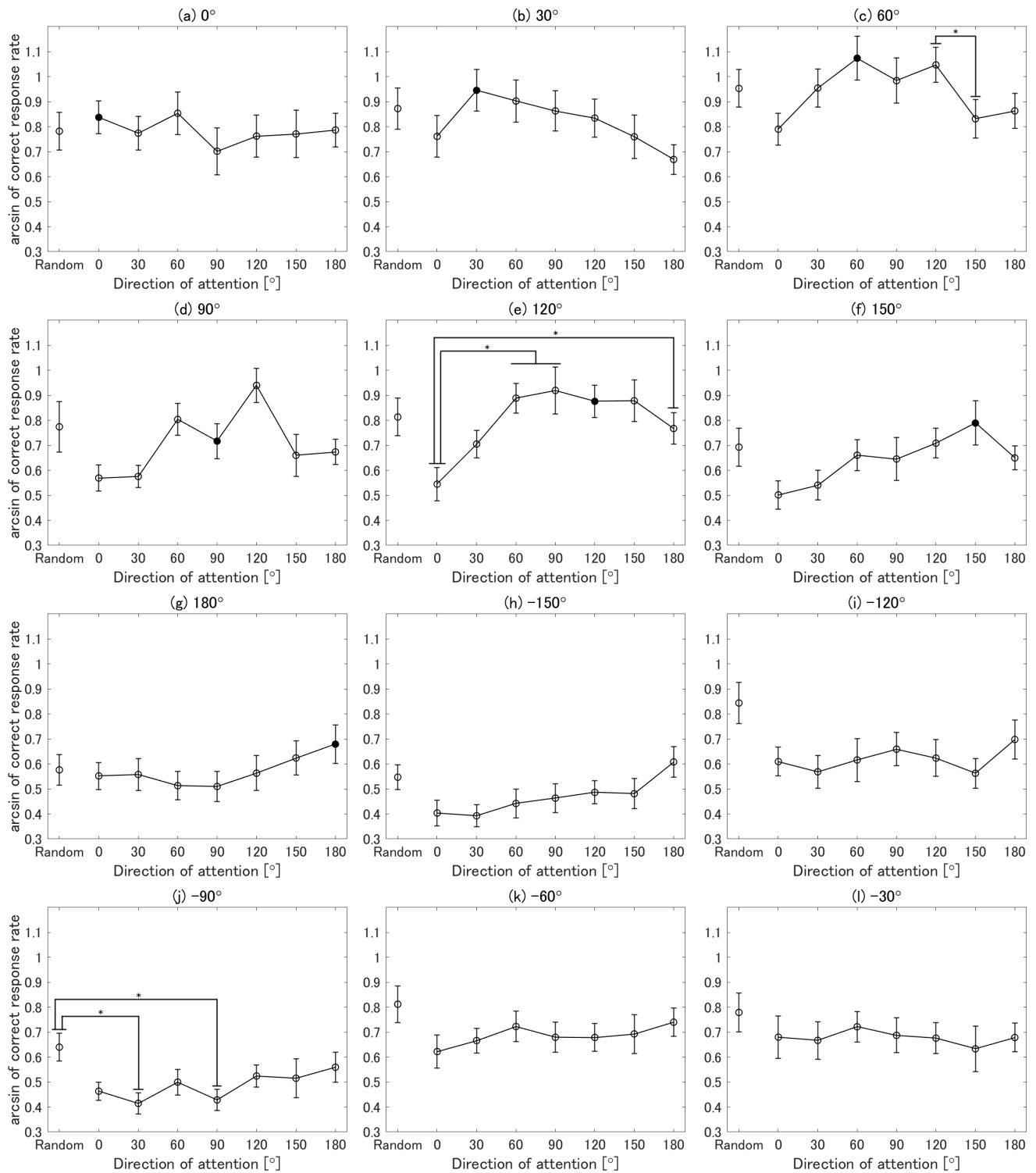


図 3 Correct response rate for given direction of sound source as a function of direction of attention. Filled markers represent those that the direction of sound source and the direction of attention match. Error bars denote the standard error of the mean.