

エコロケーション感度の個人差と視空間作業記憶

前澤 知輝

北海道大学大学院文学研究科

河原 純一郎

北海道大学大学院文学研究科

本研究は、自ら発した音の反響から周辺環境を知覚するエコロケーション能力を晴眼者で測定した。この能力には大きな個人差があり、訓練、注意、作業記憶容量、およびイメージ処理等の視覚的な情報処理過程が個人差に関係することが示唆されている。本研究では、標的までの距離 (20, 30, 40, または 50 cm) を操作し、10 秒間被験者に音を発出させた。3 日に分け、検出感度を測定した。課題後、同じ被験者の視空間作業記憶容量を測定した。その結果、検出感度は特に 1 日目から 2 日目の間 (約 1 週間以内) で増加し、増加の程度には個人差が認められた。また、3 日間の平均検出感度と視空間作業記憶容量との間に正の相関が認められた ($r = 0.62$)。以上のことから、エコロケーションによる検出能力は視空間作業記憶容量によって予測できる可能性が示された。この結果は、エコロケーションの認知的処理過程に視覚的情報処理が関係するというこれまでの知見を支持した。

Keywords: エコロケーション, 作業記憶, 空間知覚, 視覚

問題・目的

人は視覚の利用が限られる場面で、音を手掛かりに、物体の検出や、環境内を移動することができる。特に、自ら発した音の反射を手掛かりに周辺環境を知覚する技能をエコロケーションという。エコロケーションは視覚障害者にとって有用であり、晴眼者も同様の技能を持つ (e.g., Schenkman & Nilsson, 2010)。エコロケーションによって、物体の有無や特徴 (e.g., 大きさ, 形状, 素材, 距離) を知ることができ、感度や技能の獲得の程度には個人差があることがわかっている。エコロケーションの技能は適切な訓練手続きによって獲得され得るが、個人差があるために、体系的な手続きは確立されていない (Ekkel, van Lier, & Steenbergen, 2017)。したがって、エコロケーション技能に係る個人差の要因を明らかにすることが重要である。

個人差の要因の一つとして、空間知覚に重要な聴覚刺激 (e.g., ピッチ) に対する感度が考えられている。一方で、聴覚非関連の要因として、注意や知能が挙げられている。実際に、エコロケーション感度の増加の程度が、作業記憶容量と分割的注意の評価得点 (Paced Auditory Serial Addition Test) と相関することが示された (Ekkel et al., 2017)。また、近年では、視覚的な情報処理過程がエコロケーションの認知的処理過程に関係することが示唆されている (e.g., Thaler, Wilson, & Gee, 2014)。具体的には、晴眼被験者の視覚イメージ鮮明度とエコロケーションを用いたサイズ弁別能が相関することや (Thaler et al., 2014)、サイズ弁別課題の最中に視覚刺激を呈示すると、弁別能が低下する (Thaler & Foresteire, 2017)。したがって、エコロケーションの感度の個人差に、視空間情報を保持する視空間的作業記憶の容量が関係している可能性が考えられるが、検討されていない。そこで本研究では、エコロケーションによる物体検出課題を合計3日間行い、検出感度と視空間的作業記憶容量の関係について検討した。

また、本研究では、練習により増加したエコロケーション感度が数か月間維持される可能性を検討した。エコロケーション非関連の聴覚課題では学習の効果が数か月間維持されることが示唆されており (Zahorik, Bangayan, Sundareswaran, Wang, & Tam, 2006)、エコロケーション訓練の効果は維持できる可能性がある。

方法

被験者 24名の学生が1日目と2日目のエコロケーション課題に参加し、このうち13名がエコロケーション3日目の課題および視空間的作業記憶課題に参加した。

刺激 厚さ3 mm, 縦30×横40 cmのアルミニウム板を標的に用いた。音の刺激に、4 kHzの正弦波振幅を指数関数減衰したクリック音 (約6 ms, 95 dB) を用いた。

要因計画 日にち (1/2/3日目: 被験者内) × 標的距離 (20/30/40/50 cm: 被験者内) × 標的有無 (有/無: 被験者内)

エコロケーション課題 被験者は物体検出課題に3日間参加した。2日目の課題は1日目より1-8日後、3日目の課題は2日目より91-137日後に行った。被験者はアイマスクを付けた状態で椅子に座り、10秒間自由にスピーカーから音を鳴らし、標的の有無を回答した (Figure 1)。標的距離と標的の有無は無作為に組み合わせ呈示した。被験者の回答から検出感度 (d') を算出した。

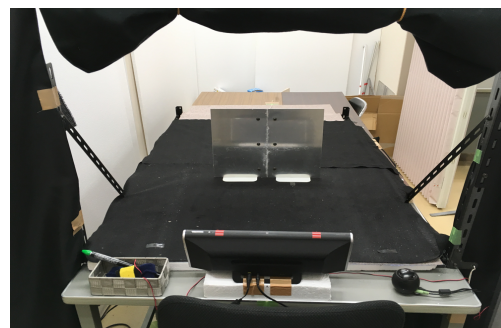


Figure 1. 実験装置

作業記憶課題 13名の被験者は視空間的作業記憶課題を行った。うち1名は反応が得られず解析から除外された。一試行の流れをFigure 2に示す。課題では、注視点が提示されたのち(1000 ms)、サンプル刺激として色のついた正方形が提示された(200 ms)。その後、ブランクが設けられ(1000 ms)、サンプル刺激があったいずれかの場所に手掛かり刺激が提示された。手掛かりは左右二色で塗り分けられた正方形で、左右の一方の色が前に提示されたサンプル刺激と一致した。被験者はサンプル刺激の色と場所を記憶し、後で提示される手掛かりの場所と一致する色を回答した。作業記憶容量はCowan's Kを用いて算出した。

$$K = (\text{ヒット率} - \text{誤警報率}) \times \text{サンプル刺激数} \quad (1)$$

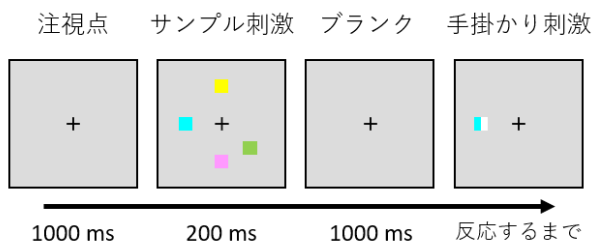


Figure 2. 作業記憶課題で提示される画面の例

結果

物体検出感度 2日間 ($n = 24$) および3日間 ($n = 13$) の平均検出感度 (d') をFigure 3に示す。3日間の検出感度はすべての距離において0よりも大きかった ($p < .001$)。

検出感度は2日間で増加し ($F(1, 23) = 6.83, p = .016, \eta_p^2 = .23$)、標的距離の主効果が認められた ($F(3, 69) = 16.49, p < .001, \eta_p^2 = .42$)。検出感度は標的距離が遠くなると低下した ($ts(23) > 2.46, ps < .044$)。24名のうち66.7% (16名) の被験者の平均検出感度は1日目と比べて増加したが、残りは減少を示し、両者の感度の増減は区別できた ($t(22) = 5.25, p < .001, d = .75$)。

同様に、3日間の検出感度で距離の主効果が認められた ($F(3, 36) = 18.00, p < .001, \eta_p^2 = .60$)。検出感度は標的距離が遠くなると低下した ($ts(12) > 4.69, ps < .002$)。一方で、日にちの主効果は認められなかった ($F(2, 24) = 0.89, p = .425, \eta_p^2 = .07$)。

作業記憶課題 被験者 ($n = 12$) の視空間的作業記憶容量 (K) と3日間の平均検出感度との間に相関関係が認められた (Figure 4: $r = .62, p = .032$; $r_s = .64, p = .028$)。

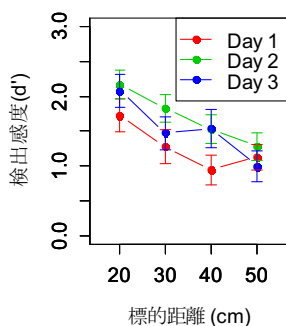


Figure 3. 検出感度

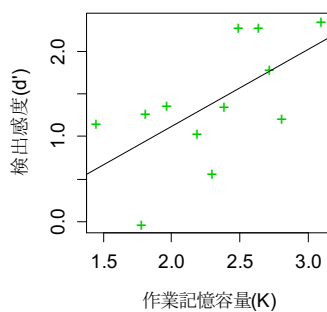


Figure 4. 作業記憶容量との関係

考察

本研究は、エコロケーション感度と作業記憶の関係性を視空間的作業記憶に拡張した。その結果、次に示す結論が得られた。まず、晴眼者はエコロケーションによって物体を検出することができ、検出感度は2日間課題を行うことで増加した。また、検出感度は標的距離に影響され、遠い距離ほど低下した。この結果は先行研究 (Schenkman & Nilsson, 2010) と一致した。次に、課題を反復することによる検出感度の増加に個人差があった。最後に、検出感度と視空間的作業記憶容量との間に相関関係が認められ、エコロケーションによる検出能力を視空間作業記憶容量によって予測できる可能性が示された。一方で、本研究では練習により増加した検出感度が数か月間維持される可能性は認められなかった。

本研究における検出感度への標的距離の影響は、標的距離が遠くなると利用できる反射音手掛かりが少なくなることを反映していると考えられる。一方で、課題を2日間繰り返すことで検出感度を向上させることができ、その増加の程度は作業記憶容量により予測できる可能性がある (Ekkel et al., 2017)。

また、本研究の結果から、検出感度の個人差は視空間作業記憶容量に関係することが示され、この結果は、エコロケーションの認知的処理過程に視覚的情報処理が関係するというこれまでの知見 (e.g., Thaler et al., 2014) を支持した。視覚的情報処理は距離の推定にも関与している可能性があり、今後の研究で検討したい。

一方で、本研究では、練習で増加した検出感度が数か月間維持される可能性は認められなかった。この理由として、第一に、個人差による影響が考えられる。第二に、全ての被験者が感度を向上させるのに必要十分な練習量が得られなかった可能性が考えられる。したがって、今後の課題として、感度の増加に必要な練習量を検討することが考えられる。

引用文献

- Ekkel, M. R., Lier, R., & Steenbergen, B. (2017). Learning to echolocate in sighted people: A correlational study on attention, working memory and spatial abilities. *Experimental Brain Research*, 235(3), 809-818.
- Schenkman, B. N., & Nilsson, M. E. (2010). Human echolocation: Blind and sighted persons' ability to detect sounds recorded in the presence of a reflecting object. *Perception*, 39(4), 483-501.
- Thaler, L., & Foresteire, D. (2017). Visual sensory stimulation interferes with people's ability to echolocate object size. *Scientific Reports*, 7, 13069.
- Thaler, L., Wilson, R. C., & Gee, B. K. (2014). Correlation between vividness of visual imagery and echolocation ability in sighted, echo-naïve people. *Experimental Brain Research*, 232(6), 1915-1925.
- Zahorik, P., Bangayan, P., Sundareswaran, V., Wang, K., & Tam, C. (2006). Perceptual recalibration in human sound localization: Learning to remediate front-back reversals. *The Journal of the Acoustical Society of America*, 120(1), 343-359