

# Semantic Informativeness Mediates the Detection of Changes in Natural Scenes

Andrew Hollingworth & John M. Henderson

*Visual Cognition*, Vol. 7, No. 1/2/3, pp. 213–235, 2000

- 人間は自然環境を見ると、外界についての詳細な視覚的表象を経験する
  - 実際にはほとんどの視覚情報は保持されない (Currie, McConkie, Carlson-Radvansky, & Irwin, in press; Grimes, 1996; Henderson, 1997; Henderson & Hollingworth, 1999b; Irwin, 1991; Levin & Simons, 1997; McConkie & Currie, 1996; McConkie & Zola, 1979; Rensink, O'Regan, & Clark, 1997)
  - サッカー中では特に、自然なシーンに対する様々な変化の検出が極めて下手 (Currie et al., in press; Grimes, 1996; Henderson & Hollingworth, 1999b; McConkie & Currie, 1996)
    - > “Change blindness” (Rensink et al., 1997; Simons & Levin, 1997)
- シーン内で視線を動かす中で、どの情報が保存されるかを定める要因は何か？
  - シーン観察の間に選択的に保持される情報の本質は何か？
  - この選択を支援する認知メカニズムは何か？
- Rensink et al. (1997) は、シーン領域の保持には、刺激の関心度が影響することを明らかにした
  - 関心の高い領域は変化検出が最も早く、低い領域は最も遅い
- Rensink et al. (1997) の問題点 1
  - 関心度は言語報告された確率に起因するため、そのシーン領域の意味的情報性だけでなく、視覚的情報性にも依存してしまっている
    - > シーン中央にある大きい物体は、小さい物体に比べて、言語報告で上位に挙げられやすく、視覚的情報である大きさが検出成績に影響した可能性がある
- 情報性 (Informativeness, Figure 1)
  - あるシーン領域が含む、他の情報との不一致の程度 (Loftus & Mackworth, 1978)
    - > 意味的に不一致な物体 (e.g. リビングにある消火栓) は情報性が高い
      - \* そのシーンにある他の要素が提供しない情報を提供してくれるため
    - > 意味的に一致な物体 (e.g., リビングにある椅子) は情報性が低い
      - \* そのシーンにある他の要素に対して余剰な情報を提供しているため
- Rensink et al. (1997) の問題点 2
  - 眼球運動は自身で統制・監視できないため、変化検出が、固視のパターン変化に起因するものか、

注意割り当ての変化に起因するものか不明

- シーンが変化したときに固視していたら、その領域の変化が早く検出されるのは当然
- もし Rensink et al. (1997) の説明が正しければ、変化検出成績は、参加者が見ていた領域では高く、見ていなかった領域は低いということになる
  - しかし、変化検出が顕在的注意の要因だけで説明できないなら、この効果を説明するためには他の認知メカニズムが働いていると考えるべきである
- 本研究では、あるシーン領域から生成された表象が観察を通して保持されるかどうかにかかわらず、その領域における意味的情報性が影響するかを検証する
  - 意味的情報性と視覚的情報性の混同を解消するため、物体の視覚的要因 (e.g., 大きさ, 複雑さ) を統制し、意味的一致性のみを操作する

## EXPERIMENT 1

- 実験 1 では、シーン領域の表象の保持に対する意味的情報性の効果を検証
  - フリッカーパラダイムを使用 (Rensink et al., 1997, Figure 2)
- 3 条件を設定
  - 削除-追加条件            物体がシーン A で表示, シーン A' で非表示  
                                  物体の存在の保持に関する検討
  - 左-右反転条件            物体がシーン A で表示, シーン A' で左右反転表示  
                                  物体の同一性と独立した、視覚情報の保持に関する検討
  - 同一条件                  シーン A とシーン A' が同一
- 仮説
  - シーン情報の選択的保持機能を持つ認知的メカニズムが、意味的特徴に影響されるなら、一致物体に比べて、意味的不一致物体の変化はより早く検出されるだろう
  - 一方、選択的保持が低次元視覚的要因 (e.g., 大きさ, 奇妙さ) に起因するなら、物体の意味的一致性が変化しても、検出時間に差は生じないだろう

## Method

### *Participants.*

- Michigan State University の学生 12 名



FIG. 1. An example of the type of scene used and the target object semantic consistency manipulation. (a) contains a semantically consistent target object (chair), whereas (b) contains a semantically inconsistent target object (fire hydrant). This living room scene was paired with a street scene in which the fire hydrant was consistent and the chair inconsistent.

*Stimuli.*

- 20 シーンと 20 ターゲットを用意 (Figure 1)
  - 14 シーンは van Diepen and De Graef (1994) の修正, 6 シーンは East Lansing で撮影した写真から作成
  - グレースケールの線画

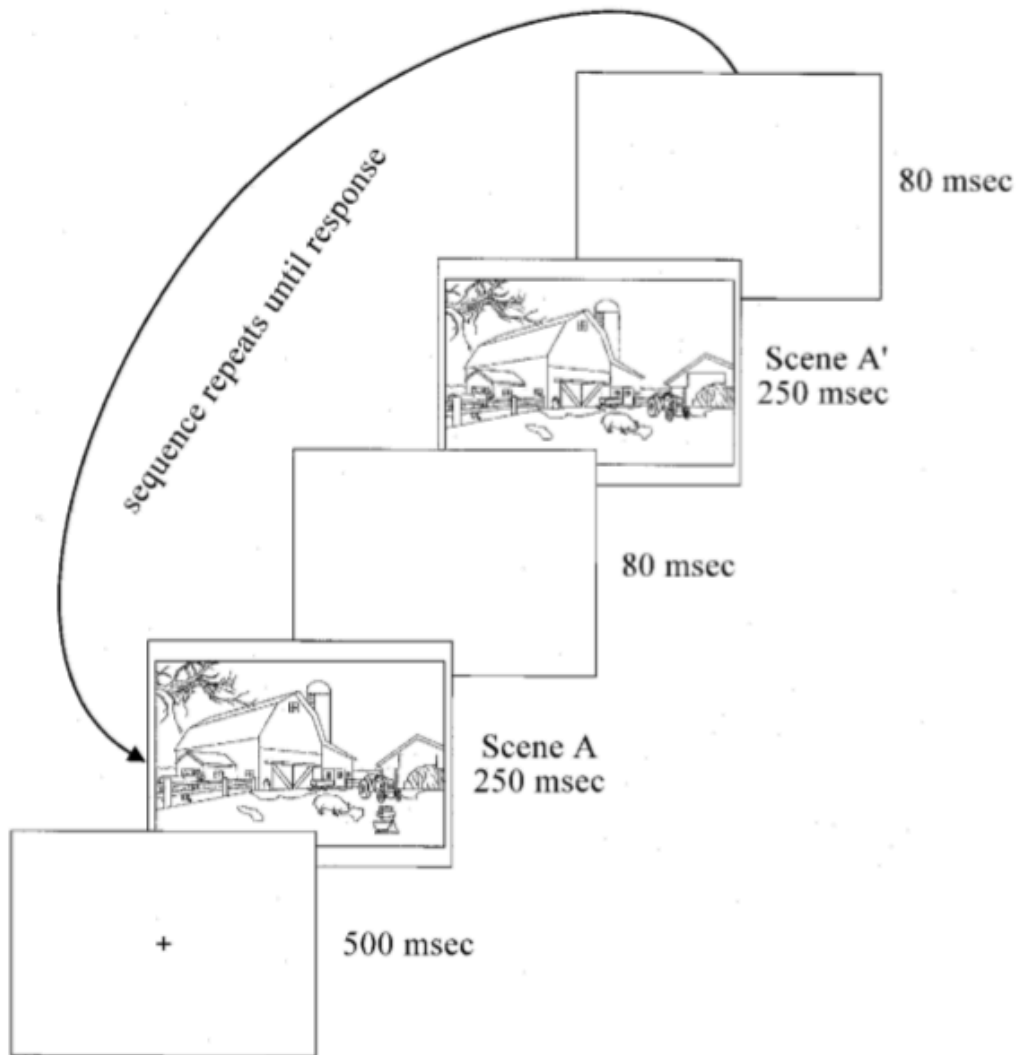


FIG. 2. Schematic illustration of a trial in Experiment 1.

- ターゲットの位置はシーン間で共通
  - > 最初の注視点とは異なる位置
- 各シーンで、一致ターゲット(一致条件)と不一致ターゲット(不一致条件)を用意
  - > ターゲットの情報性に影響するため、自然物(e.g., 庭の鳥)と人工物(e.g., リビングの燭台)の置き換えは行わなかった

#### *Apparatus.*

- 参加者の反応をボタンボックスで測定

#### *Procedure.*

- 教示
  - 連続して提示されるシーンで起こる変化を見つけること
  - 片手をボタンボックスに置く

- 1 試行の流れ (Figure 2)
  - 注視点が提示された状態でボタンを押して 500 ms 後, 注視点が消去
  - シーン A を 250 ms, ブランクを 80 ms, シーン A' を 250 ms, ブランクを 80 ms, ... と提示
  - 変化が見つかったら Yes ボタン, 見つからなかったら No ボタンを押下
- 練習ブロック 16 試行
- 実験セッション 160 試行
  - 2 (意味的一致性条件: 一致 / 不一致)  $\times$  4 (変化条件: 追加-削除 / 左-右転換 / 同一  $\times$  2)  $\times$  20 (シーン)
  - > 同一条件は, 統計分析を見据え, 変化あり試行数となし試行数を同数にするために数を調整
  - 試行は参加者間でランダム順に提示

## Results

### *Reaction Time Analysis.*

- 330 ms 以下の反応 (i.e., シーン A' 提示前の反応) の除外
- 反応時間について, 2 (意味的一致性)  $\times$  3 (変化) の分散分析を実施 (Table 1)
  - 意味的一致性の主効果が有意 ( $F(1, 11) = 7.47, p < .05$ )
    - > 一致 (1676 ms) > 不一致 (1622 ms)
  - 変化の主効果が有意 ( $F(2, 22) = 41.46, p < .001$ )
  - 交互作用なし ( $F(2, 22) = 1.34, p > .25$ )
- 同一条件を除外し, 分散分析を再実施
  - 意味的一致性の主効果が有意 ( $F(1, 11) = 11.36, p < .01$ )
    - > 一致 (1380 ms) > 不一致 (1309 ms)
  - 変化の主効果が有意 ( $F(1, 11) = 83.58, p < .001$ )
    - > 削除-追加 < 左-右転換
  - 交互作用なし ( $F < 1$ )
- 同一条件のみで, 分散分析を再々実施
  - 意味的一致性の主効果なし ( $F < 1$ )

### *Percentage Correct Analysis.*

- 変化検出の正答率について, 分散分析を実施 (Table 1)
  - 意味的一致性の主効果なし ( $F < 1$ )
  - 変化の主効果が有意 ( $F(2, 22) = 17.18, p < .001$ )
    - > 同一 (98.0%), 削除-追加 (94.2%), 左-右反転 (85.0%)

TABLE 1  
Mean reaction time (msec) as a function of target object semantic consistency and change condition, Experiment 1

Target Object Consistency	Change Condition		
	Same	Deletion-addition	Left-right Orientation Change
Consistent	2268 (98.3)	1261 (93.3)	1500 (85.4)
Inconsistent	2245 (97.7)	1190 (95.0)	1427 (84.6)

Percentage correct performance in parentheses.

- \* 同一条件が他の2条件より1s近く反応が遅いことを考えると、正答率が高いことは想定内
- \* 削除-追加条件は、左-右反転条件より顕著な変化であった

- 交互作用なし ( $F < 1$ )

- 同一条件を除外しても結果はほぼ同じ
  - 意味的一致性の主効果なし ( $F < 1$ )
  - 変化の主効果が有意 ( $F(1, 11) = 10.65, p < .01$ )
  - 交互作用なし ( $F < 1$ )

## Discussion

- 意味的情報性の高い不一致物体の変化は、低い一致物体の変化に比べて、より早く検出された
  - 各ターゲットは視覚的情報性が統制されていたため、純粋に意味的情報性に影響された
    - > 不一致物体の変化検出の利点は、削除-追加・左-右反転の両方で現れた
      - \* 物体の存在・方向に関する情報は、情報性の高い物体が優先的に保持される
    - > 削除-追加の変化は、左-右反転の変化より早く正確に検出された
      - \* 削除-追加は、背景の輪郭が何度も塞がれたり、外されたりを繰り返す比較的大きな変化であったため
- 一致・不一致に差が生じた理由は、不一致物体を積極的に探そうとする方略を採用したため
  - 試行を経る中で、不一致物体の状態が変化の有無を決めることを学習した？
- しかし、以下の点から不一致物体探索方略は支持されない
  - 同一条件で、一致よりも不一致の反応時間が長いことも、正確さが高いこともなかった
  - 後半になるにつれて、一致よりも不一致の反応時間が長くなることはなかった
- ただし、意味的情報性の高い物体は、低い物体より、固視時間が長く回数も多いため、変化検出の成績は顕在的注意の差によって生じた可能性は否定できない

## EXPERIMENT 2

- 実験1の結果は、変化領域への顕在的注意の割り当てによって生じていたかを検証
  - 顕在的注意を割り当てさせないため、変化前にターゲットに固視させないように変更

### *Participants.*

- Michigan State University の学生 24 名

### *Stimuli and Apparatus.*

- シーンは実験1と同様
- シーン A・A'間でパターンマスクを提示
  - 線・曲線・角が重なり合った線画
  - シーン全体より多少大きく、シーン全体が覆い尽くされた

### *Procedure.*

- 以下の変更点を除き、実験1と同様
  - 実験前に、変化の性質を述べ、提示される二つのシーンが同じか異なるかを判断することを教示
  - シーン間の 80 ms のブランクを、30 ms のパターンマスクに変更
    - > 一致・不一致で別の記憶処理が行われる可能性を抑えるため (e.g. Friedman, 1979)
  - シーン A'は参加者がボタン押し反応をするまで表示され続ける
  - 練習ブロックを 16 試行から 8 試行に変更
  - 実験セッション 160 試行の構成を変更
    - > 2(意味的一致性条件: 一致 / 不一致) × 2(変化条件: 左-右転換 / 同一) × 20(シーン) × 2(回)
    - > 5シーン × 4条件の 20 試行を 1 ブロックとし、8 ブロックを実施

## Results

- 変化検出の正答率について、2(意味的一致性) × 2(変化) × 8(ブロック) の分散分析を実施
  - ブロックの主効果あり ( $F(7, 161) = 4.94, p < .001$ )
    - > 前半より後半のほうが成績が高い
  - 変化とブロックの交互作用は有意傾向 ( $F(7, 161) = 1.94, p = .07$ )
    - > 同一条件に比べ、左-右転換条件において、ブロックを経るごとに成績が良くなっていった
  - 意味的一致性とブロックの交互作用なし ( $F < 1.5$ )
- ブロックを潰し、分散分析を再実施 (Table 2)
  - 意味的一致性の主効果あり ( $F(1, 23) = 6.07, p < .05$ )

TABLE 2  
Percentage correct performance as a function of target object semantic consistency and change condition, Experiment 2

Target Object Consistency	Change Condition	
	Same	Left-right Orientation Change
Consistent	78.2	49.5
Inconsistent	78.1	54.7

- > 一致 (63.9%) < 不一致 (66.4%)
- 変化の主効果あり ( $F(1, 23) = 56.07, p < .001$ )
- > 左-右転換 (52.1%) < 同一 (78.2%)
- 意味的一致性と変化の交互作用あり ( $F(1, 23) = 5.04, p < .05$ )
- > 同一条件では差がないが、左-右転換条件では不一致物体の検出成績が高い
- 意味的一致性による反応のバイアスを確かめるため、 $B''$ を算出
  - バイアスのノンパラメトリック指標
  - 左-右転換条件における正答率を Hit rate, 1 から同一条件の正答率を引いたものを False alarm rate として使用 (Grier, 1971)
  - 一致・不一致間で反応のバイアスは見られなかった ( $F < 1$ )
- 左-右転換条件の正答率は、シーン変化の敏感さの指標として有効
  - 左-右転換変化の検出 一致 (49.5%) < 不一致 (54.7%) ( $F(1, 23) = 10.70, p < .005$ )

## Discussion

- シーン A は提示が短過ぎて物体に固視できないにもかかわらず、意味的不一致物体の変化検出は、一致物体よりも正確
  - 変化した領域への固視パターンの差異では、不一致ターゲットへの正確さを説明できない
  - 意味的不一致ターゲットからの情報を優先的に保持する上で、顕在的注意の割り当て以上の認知的要因が少なくとも関わっていることがわかった
- 実験 1・2 で不一致物体の変化検出に優れていたのは、不一致物体を記憶する方略が獲得されたため？
  - 一致物体は変化しないが、不一致物体は 50%の確率で変化することを学習しただけ？

## EXPERIMENT 3

- 実験 3 は不一致記憶仮説を検証するため、実験 2 から以下の 2 点を修正
  - ターゲット以外にシーン A・A'で方向転換する物体 (ディストラクタ) を加えた条件を追加



- > 変化あり 4 条件を設定 (Figure 3)
  - \* ターゲット変化条件 × 2 (実験 2 と同様)
  - \* デイストラクタ変化条件 × 2 (実験 3 で追加)
- > 同一条件 (一致ターゲット × 2, 不一致ターゲット × 2)
- 一致ターゲット条件の各シーンに, 不一致の第三者を配置 (Figure 3)
  - > 全シーンに不一致物体を必ず 1 つ入れるため
- これらの修正により, 不一致物体が全 8 条件に現れるが, 不一致物体が変化するのは 1 条件のみ
  - 不一致物体が変化する確率が, 実験 1・2 の 50% から 12.5% に低下

## Method

### *Participants.*

- Michigan State University の学生 24 名
  - 検出成績が 60% 以下の 3 名を, 別の参加者に置き換え

### *Stimuli and Apparatus.*

- 以下を除き, 刺激は実験 2 と同様
  - 一致ターゲットの各シーンに不一致第三者を追加
  - それに伴い, 4 シーンでターゲットの位置を変更

### *Procedure.*

- 以下の変更点を除き, 実験 2 と同様
  - 実験セッション 160 試行の構成を変更
    - > 2 (意味的一致性条件: 一致 / 不一致) × 4 (変化条件: ターゲット左-右転換 / デイストラクタ左-右転換 / 同一 × 2) × 20 (シーン)
    - > ブロック要因を削除

## Results

### *Percentage Correct Analysis.*

- 検出正答率について, 2 (意味的一致性) × 2 (変化) の分散分析を実施 (Table 3)
  - 意味的一致性の主効果あり ( $F(1, 23) = 7.96, p < .01$ )
    - > 一致 (59.9%) < 不一致 (65.0%)
  - 変化の主効果あり ( $F(1, 23) = 134.09, p < .001$ )
    - > 左-右転換 (40.6%) < 同一 (84.3%)

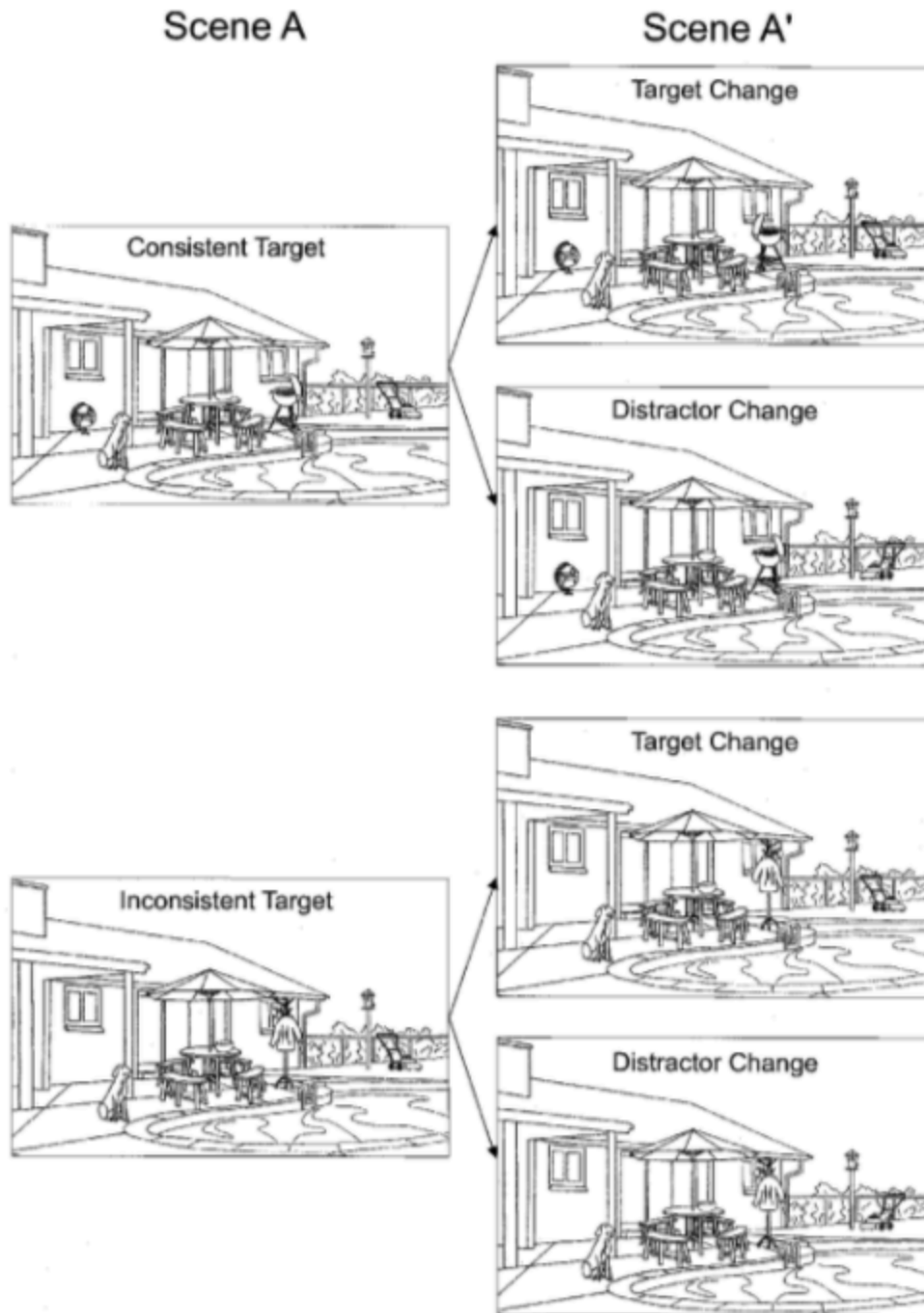


FIG. 3. Illustration of the target and distractor change conditions in Experiment 3 for the patio scene. In the target change conditions, either the consistent target (grill) or inconsistent target (coat rack) was changed between scene A and A'. In the distractor change conditions, a consistent distractor object (lawnmower) was changed both when the target was consistent and inconsistent with the scene. In addition, an inconsistent bystander object (globe) was added to the scenes in the consistent target condition, so that each scene contained one inconsistent object. Four same conditions (not pictured) were included to equate the number of trials on which a change did or did not occur.

- 意味的一致性と変化の交互作用の傾向あり ( $F(1, 23) = 3.46, p = .07$ )
  - > 一致・不一致の正答率差分 左-右転換 (8.7%) > 同一 (1.4%) ( $F(1, 23) = 6.64, p < .05$ )

- 意味的一致性による正答率に関する反応バイアス B''

TABLE 3  
Percentage correct and A' performance as a function  
of target object semantic consistency and change  
condition, Experiment 3

Target Object Consistency	Target Change Condition	
	Same	Left-right Orientation Change
Consistent		
Percent correct	83.6	36.3
A'		.678
Inconsistent		
Percent correct	85.0	45.0
A'		.755

- 一致ターゲット ( $B'' = .263$ ) < 不一致ターゲット ( $B'' = .364$ ) ( $F(1, 23) = 10.64, p < .005$ )

## Discussion

- 実験3では、意味的不一致物体がシーンに追加され、一致ディストラクタが変化する条件を設けた
  - 不一致物体を選択的に記憶することが最善でなくなった
- しかし実験1・2同様、意味的一致物体より不一致物体の検出成績が高かった
- 一致ターゲットのシーンにおける余計な不一致第三者が、検出成績が低下させたわけではない
  - 一致ターゲット-ディストラクタ変化条件
    - > 不一致第三者があるシーンにおいて、一致ディストラクタが変化 (正答率 33%)
  - 不一致ターゲット-ディストラクタ変化条件
    - > 不一致第三者がないシーンにおいて、一致ディストラクタが変化 (正答率 29%)

## GENERAL DISCUSSION

- 本研究の目的は、シーン領域の意味的特徴が、その領域の保持にどのように影響するかを検証すること
  - Rensink et al. (1997) はフリッカーパラダイムを用いて、“面白さ”や情報性が優先的に保持されることを示したが、意味的情報性と視覚的情報性を混同
  - また、眼球運動が統制できていないため、関心による変化検出成績への影響が、固視パターンの差異に起因するのか、顕在的注意の割り当ての差異に起因するのか不明
- そこで本研究では、フリッカーパラダイムとターゲットへの固視を事前に防ぐパラダイムを使用し、視覚的情報性と独立してシーン領域の意味的情報性を操作した
  - 意味的情報性の高い不一致領域は、低い一致領域に比べ、優先的に表象化されやすい
  - この効果は、顕在的注意の割り当て (i.e., 固視) の差異では説明できなかった
- シーン情報の選択的保持を行う認知メカニズムは、シーン領域の意味的特徴に敏感である

- 意味的不一致情報を優先的に表象化する認知メカニズムについて、3つの仮説が考えられる
  - いずれもデータによる根拠はないが、今後の検討に向け以下に記す
- Memory schema hypothesis
  - 記憶スキーマと意味的に不一致な物体表象はより真の状態に近い形式で保持される一方、一致する物体表象はスキーマのデフォルト値として標準化される
- ただし、本仮説は以下の2つの実験 (Hollingworth & Henderson, submitted) から棄却
  - 実験2から、パターンマスクの提示時間を 30 ms から 400 ms に変更
    - > もしスキーマ標準化が要因なら、保持間隔が長くなると不一致物体の優位がより際立つだろう
    - > しかし、保持間隔を長くしても不一致物体の優位は変わらなかった
  - また、パターンマスクから概念マスク (i.e. 異なる概念タイプのシーン) の 250 ms 提示に変更
    - > もし概念レベルスキーマが要因なら、概念マスクが不一致物体の優位を消失させるだろう
    - > しかし、概念マスクでも不一致物体の優位は変わらなかった
- Attentional attraction hypothesis
  - シーン全体の意味の中で、対象の独自性が調和させづらいとき、その対象に対する顕在的注意が引きつけられる
    - > 知覚的ミスが起こっていないか、不調和を納得させる詳細がないかを確認するため
    - > 注意資源を追加で払うことで、後に思い出される記述が豊富になるため
  - 不一致物体はシーンを見始めてからすぐに固視される (Loftus & Mackworth, 1978)
- Attentional disengagement hypothesis
  - 不一致物体に一旦注意が引きつけられると、意味的不一致の解消に向けてさらなる監視を要求するため、注意の引き剥がしが困難になる
    - > 最初から意味的不一致物体に、視線は引きつけられるわけではない (De Graef et al., 1990; Henderson et al., 1999)
    - > ただし不一致物体に固視が起こると、視線は長時間捕捉される (De Graef et al., 1990; Friedman, 1979; Henderson et al., 1999; Loftus & Mackworth, 1978)

## CONCLUSION

- そのシーン内で意味的に一致した物体に比べ、不一致な物体は、変化がより簡単に検出される
  - 視聴を通してシーン領域の表象が保持されるか否かは、そのシーン領域の意味的特徴が影響する
  - 複雑なシーンから生成される初期表象は、そのシーンの単純な視覚的コピーではない