

## Thinking About the Weather: How Display Salience and Knowledge Affect Performance in a Graphic Inference Task

*Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory, and Cognition*, Vol.36,(1)  
pp.37-53, 2010

Hegarty, M., Canham, M. S., and Fabrikant, S. I.

### ◆ はじめに

- 人は知識と視覚的特徴から推論を行う
  - ◇ 本研究では課題の成績と注視パターンを分析し、図の理解における知識と表現の相互作用を検討する
- Perception and Comprehension of Visio-Spatial Display
  - ◇ 情景の知覚の研究において注視行動は、視覚的特徴の **bottom-up** 的な影響と知識や目的などの **top-down** 的な影響を受けることが確認されている (Henderson & Ferreria, 2004)
  - ◇ 単純な図では視覚的な影響を受ける
- 本研究では気象図を用いて **bottom-up** 的処理と **top-down** 的処理の影響を検討する
  - ◇ 先行研究では単純な課題が多い
  - ◇ 気象図は視覚的な特徴の調整ができる
- The Experimental Task
  - ◇ Figure 1 参照
  - ◇ 矢印が示す風向きが正しいかどうかを判断する
  - ◇ 処理プロセスは Figure2 のようになると考えられる
- 本研究の仮説
  - ◇ 空間選択仮説
    - 視覚的な特徴が参加者の視線をガイドして課題の成績を向上させる
    - この仮説が正しいならば、初めの注視が図中の目立った部分にガイドされるだろう
  - ◇ 特徴選択仮説
    - 視覚的な特徴が参加者の注意を維持し比較などを行いやすくさせる
    - 課題に関連した領域が見えやすい図だと、見えにくい図と比較して視線のパターンは変わらないが、意識が変わるので、成績が向上するだろう

### ◆ Experiment 1

- Method
  - ◇ participants. 大学生 40 名

- ◇ 実験計画 3 要因混合計画
  - 被験者間要因
    - Map type
  - 被験者内要因
    - Arrow type
    - インストラクション前後 (インストラクション前課題 / インストラクション後課題)
- ◇ Materials
  - Experimental images.(Figure 1)
    - Map type
      - ◇ 気圧顕著図 (pressure salient maps) 条件 : 等圧線がはっきりと描かれている
      - ◇ 気温顕著図 (temperature salient maps) 条件 : 等圧線は細く, 気温表示の色がはっきりしている
    - Arrow type
      - ◇ Correct arrows : 正しい風の向き (低気圧の中心に対して 20 度の反時計回りの向き)
      - ◇ Opposite arrows : Correct arrows の正反対
      - ◇ Pressure gradient arrows : 高気圧の中心から低気圧の中心に向かう (間違った風の向き)
- ◇ Meteorology tutorial.
  - 気圧傾度とコリオリ原則 (地球の自転が風向きなどに与える効果) についての説明
  - 3 例を使用して矢印の確認
- ◇ Knowledge of Principles Questionnaire.
  - 気象に関する知識についてのテスト
  - 口頭での多肢選択問題 (2 題)
  - 気象図への風向きの矢印記入問題 (2 題)
- ◇ Apparatus.
  - 19 インチモニターから 30 インチ (76.2cm) 離れたところにチンレストを設置
  - モニター解像度 : 800×600 pixels / 75Hz
  - SMI EyeLink I (ヘッドマウント型)
    - 視野角 0.5 度精度
    - 250Hz
  - 加速度 9,500° /s<sup>2</sup> かつ速度が 30° /s はサッケードとして分類

- 各ブロックごとにキャリブレーションを行った

◇ Procedure.

1. アイ・トラッカーのキャリブレーション
2. 刺激に慣れるために、気象図の例を見る
3. 課題についての説明を受ける
  - ◇ 課題の内容：気象図中の矢印が正しい風向きを示しているかを true or false で答える
4. 練習課題 6 題（フィードバックなし）
5. **インストラクション前課題 30 題**
6. 気象についてのインストラクション (Meteorology tutorial)
  - ◇ 各自のペースで
7. 学習内容確認のためのテスト (Knowledge of Principles Questionnaire)
  - ◇ 間違えた場合は、学習用教材を確認して正しい答えを探すように指示
8. 例題 3 題（フィードバックあり，質問 OK）
9. **インストラクション後課題 30 題**

◇ Coding of eye fixations.

- 気象図を風向きの推測に関連のある領域 (relevant area) と関連のない領域 (irrelevant area) に分けた
  - 課題関連領域 (relevant area)
    - ◇ 矢印を中心とした円形領域 50pixel (視野角 1.8°) ※気象図中 0.4%
    - ◇ 矢印から最も近い高気圧の「H」を中心とした円形領域 100pixel (視野角 3.5°) ※気象図中 1.6%
    - ◇ 矢印から最も近い低気圧の「L」を中心とした円形領域 100pixel (視野角 3.5°) ※気象図中 1.6%
  - 課題無関連領域 irrelevant area
    - ◇ 気温の凡例領域 100×600 pixel ※気象図中 12.5%
- 分析対象
  - 課題関連領域に初めて注視するまでの時間
  - 上記の領域に注視した回数，時間
    - ◇ 注視回数と注視時間には高い相関 (相関の中央値 = .90)
    - ⇒ 総注視時間のみを分析
  - response time : true or false のボタンを押すまでの反応時間

- 実験参加者 2 名のデータをキャリブレーション不足のため除外

➤ Result and Discussion

☆ 学習直後のテスト (Knowledge of Principles Questionnaire)

- 両条件に有意差はなかった ( $t(38) = .50, p = .62$ )
  - 気圧顕著図条件:  $M = 2.80$
  - 気温顕著図条件:  $M = 2.95$

☆ Response times.

- 結果は Table 1
- 各個人の反応時間の中で平均から 3SD 以上離れたものは分析から除外した
- インストラクションの主効果あり ( $F(1,38) = 7.02, p < .05$ )
  - インストラクション前 ( $M = 5.16s, SD = 2.65$ )
  - < インストラクション後 ( $M = 6.11s, SD = 2.38$ )
  - ⇒ 学習前はよく考えずにボタン押しをしていたと考えられる
- Map type の主効果, 2 要因の交互作用は有意ではなかった
- 矢印の向きの要因は本研究のメインの目的とあまり関係がないので分析しないこととした
  - 3 つの実験全てで, response time と accuracy において, 矢印の向きの効果は有意であった
  - opposite arrow では, 学習後のほうが response time が短くなった
    - ← 気圧差原則だけですぐに false の判断できる
  - pressure-only arrow では, 学習後のほうが正確さが減少した
    - ← 気圧差原則と自転の原則の両方を考えないといけない
  - 我々はこの要因に関してこれ以上の分析をしないこととした

☆ Effects of knowledge and display design on accuracy.

- 予想: 風向きの推測の正確性は, 気象についてのインストラクションの影響と Map type の影響を受ける
- 正確に回答した割合を Figure 3 に示した
- インストラクションの主効果有意 (= 学習の影響あり)
  - $F(1,38) = 66.13, p < .001$
  - インストラクション前 ( $M = .50, SD = .09$ )
  - < インストラクション後 ( $M = .72, SD = .15$ )
  - ⇒ 予想通り
- Map type の主効果なし
  - $F(1,38) = 1.80, p = .19$

- インストラクションと Map type の交互作用有意
  - $F(1,38)=5.51, p< .05$
  - 単純主効果検定
    - ◇ インストラクション前 (Before Instruction)
      - 気圧顕著図条件≒気温顕著図条件 ( $F(1,38)= .59, p= .45$ )
      - チャンスレベル
    - ◇ インストラクション後 (After Instruction)
      - 気圧顕著図条件>気温顕著図条件 ( $F(1,38)=4.44, p< .05$ )
- ◇ Effects of knowledge and display design on eye fixations.
  - 予想
    - もし視線が図中の顕著な変数にガイドされるなら
      - ◇ 気圧顕著条件では気圧に関連する領域の注視時間が長くなる
      - ◇ 気温顕著条件では気温に関連する領域の注視時間が長くなる
    - もし課題や領域知識に影響されるなら与えられた気象図の表現にかかわらず
      - ◇ 初めに矢印とその周辺の気圧系を見る
      - ◇ インストラクション後には、気圧関連領域の注視時間が長くなり、気温関連領域の注視時間が減少する
  - Figure 4 に全実験参加者の注視軌跡の例を示した
    - 矢印とその周辺の気圧系への注視
      - ◇ インストラクション前：58%
      - ◇ インストラクション後：77%
  - Time prior to the first fixation on task-relevant regions.
    - Table 2 は矢印と気圧系に最初に注視するまでの時間
    - Map type の主効果有意
      - ◇  $F(1,38)=5.17, p= .03$
      - ◇ 気圧顕著図<気温顕著図
      - ⇒ 予想通り
    - インストラクションの主効果有意傾向
      - ◇  $F(1,38)=3.08, p= .09$
    - インストラクションと Map type の交互作用なし
      - ◇  $F(1,38)<1$
      - ⇒ 初めに矢印やその周辺の気圧系に注視するまでの時間にはインストラクションの効果はない
  - Proportion of time spent viewing task-relevant regions.
    - Figure 5 は課題関連領域を注視していた時間の平均

- インストラクションの主効果有意
  - ✧  $F(1,36)=78.03, p<.001$
  - ✧ インストラクション前<インストラクション後
- Map type の主効果なし
  - ✧  $F(1,36)<1$
- インストラクションと Map type の交互作用, もう少しで有意
  - ✧  $F(1,36)=3.99, p=.06$
- 課題関連領域を矢印と周辺気圧系に分解して分析
  - ✧ 周辺気圧系 (Figure 5a)
    - インストラクションの主効果あり
      - $F(1,36)=88.52, p<.001$
      - インストラクション前 ( $M=.41, SD=.06$ )  
 <インストラクション後 ( $M=.58, SD=.05$ )
    - Map type の主効果なし
      - $F(1,36)<1$
    - インストラクションと Map type の交互作用なし
      - $F(1,36)=3.24, p>.10$
  - ✧ 矢印 (Figure 5b)
    - インストラクションの主効果なし
      - $F(1,36)=2.60, p=.12$
    - Map type の主効果なし
      - $F(1,36)=1.60, p=.21$
    - インストラクションと Map type の交互作用なし
      - $F(1,36)<1$
  - ✧ 課題関連領域の注視時間と成績 (正確性) の間には有意な相関なし ( $r=-.138$ )
- Proportion of time spent viewing task-irrelevant regions.
  - インストラクションと Map type が課題無関連領域への注視に与える影響を検討
  - 等分散が仮定されなかったため, ノンパラメトリック統計で検定
  - インストラクションの効果
    - ✧ 気温の凡例領域の注視時間の割合に有意差あり
      - インストラクション前 ( $M=.05, SD=.08$ )  
 <インストラクション後 ( $M=.004, SD=.01$ )
      - Wilcoxon signed-ranks test :  $Z=4.08, p<.001$
    - ✧ 気温の凡例領域に注視した試行数に有意差あり

- インストラクション前 ( $M=7.3/30$  試行,  $SD=6.48$ )  
     < インストラクション後 ( $M=1.7/30$  試行,  $SD=2.53$ )
- Wilcoxon signed-ranks test :  $Z=3.79, p<.001$

➤ Map type の効果

◇ Figure 4 では気温顕著条件のほうが気圧顕著条件よりも頻繁に気温の凡例領域を注視しているように見えるが、統計的な差はない

- インストラクション前 : Mann-Whitney  $U=132, Z=1.46, ns$
- インストラクション後 : Mann-Whitney  $U=169, Z=.36, ns$

◇ 実験 1 のまとめ

- 表現の効果はインストラクション後にのみ表れた
  - インストラクション後の正確性 : 気圧顕著条件 > 気温顕著条件
- 気圧顕著図条件の参加者は、気温顕著条件の参加者よりも早く気圧系に注視していたという結果は空間選択仮説をある程度支持する
- しかし、課題や知識の影響のほうが大きい
- また、注視時間とパフォーマンスには乖離がある
- 知識によって top-down 的に視線が方向づけられたあとに、課題関連領域が視覚的に顕著な図がその領域への注意を強化して、課題に無関係な領域への注意を抑制した可能性が考えられる。

◆ Experiment 2

- 実験 1 では視覚的な特徴の効果は弱かった
  - ⇒ もっと違いを強調した図を使用する
- 視覚的特徴の 3 要素を調整 (salience model, Itti & Koch, 2000)
  - ◇ 色彩 / 明度 / 方向性
- Figure 6c が再デザインした気圧顕著図
- Method
  - ◇ participants.
    - 大学生 40 名
    - 気圧顕著図条件 20 名 / 気温顕著図条件 20 名
    - キャリブレーション・エラーで 4 名を除外
  - ◇ Materials and design.
    - 実験 1 とほぼ同じ
    - インストラクション前課題の前に事前知識を確認するテストを実施
- Result and Discussion
  - ◇ Knowledge of meteorology

- 事前知識テスト
  - 両条件に有意差はなかった ( $t < 1$ )
    - ◇ 気温顕著図条件:  $M=5.38 / 14, SD=1.85$
    - ◇ 気圧顕著図条件:  $M=5.23 / 14, SD=1.81$
- Knowledge of Principles Questionnaire
  - $t(34)=2.46, p < .05$ 
    - ◇ 気温顕著図条件 ( $M=3.40, SD=.59$ )
    - ◇ 気圧顕著図条件 ( $M=2.80, SD=.84$ )
- ◇ Response times.
  - 結果は Table 1
  - 各個人の反応時間の中で平均から 3SD 以上離れたものは分析から除外
    - インストラクションの主効果 ( $t(34)=2.35, p=.14$ ), Map type の主効果 ( $t(34) < 1$ ), 2 要因の交互作用 ( $t(34) < 1$ ) はいずれも有意ではなかった
- ◇ Effects of knowledge and display design on accuracy.
  - 正確に回答した割合を Figure 7 に示した
  - インストラクションの主効果有意 ( $F(1,34)=38.73, p < .001$ )
    - インストラクション前 ( $M=.54, SD=.13$ )
    - < インストラクション後 ( $M=.72, SD=.09$ )
  - Map type の主効果なし(有意傾向)
    - $F(1,34)=3.10, p=.08$
  - インストラクションと Map type の交互作用有意
    - $F(1,34)=5.51, p < .05$
    - 単純主効果検定
      - ◇ インストラクション前 (Before Instruction)
        - 気圧顕著図条件 = 気温顕著図条件 ( $F(1,34)=.03, p=.86$ )
      - ◇ インストラクション後 (After Instruction)
        - 気圧顕著図条件 > 気温顕著図条件 ( $F(1,38)=4.44, p < .01$ )
- ⇒ 実験 1 と一貫して、視覚的特徴の効果はインストラクション後に表れる
- ◇ Effects of knowledge and display design on eye fixations.
  - Time prior to the first fixation on task-relevant regions.
    - Table 2 は矢印と気圧系に最初に注視するまでの時間
    - 矢印領域
      - ◇ Map type の主効果有意 ( $F(1,34)=7.76, p < .01$ )
        - 気圧顕著図 < 気温顕著図



- ◇ インストラクションの主効果なし
  - ◇ Map type とインストラクションの交互作用有意傾向  
( $F(1,34)=3.84, p=.06$ )
- 矢印周辺の気圧系
  - ◇ Map type の主効果有意 ( $F(1,34)=13.16, p<.001$ )
    - 気圧顕著図<気温顕著図
  - ◇ インストラクションの主効果あり ( $F(1,34)=4.48, p<.05$ )
    - インストラクション前<インストラクション後
  - ◇ インストラクションと Map type の交互作用なし
- Proportion of time spent viewing task-relevant regions.
  - Figure 8 は課題関連領域を注視していた時間の平均
  - インストラクションの主効果有意 ( $F(1,34)=34.01, p<.001$ )
    - ◇ インストラクション前 ( $M=.48, SD=.07$ )  
<インストラクション後 ( $M=.58, SD=.08$ )
    - ⇒ 実験1と一貫
  - Map type の主効果有意 ( $F(1,34)=16.48, p<.001$ )
    - ◇ 気圧顕著図>気温顕著図
    - ⇒ 実験1と一貫せず
  - インストラクションと Map type の交互作用, もう少しで有意  
 $F(1,34)=3.81, p=.06$ 
    - ⇒ 事前知識がインストラクションによって上書きされた可能性あり
    - ◇ 矢印の領域に関して (Figure 8b)
      - インストラクション後の課題関連領域への注視時間の増加は矢印の領域に対する注視の増加のせいではない
      - インストラクションの主効果なし ( $F(1,34)=3.37, p=.08$ )
      - インストラクションの主効果有意 ( $F(1,34)=5.34, p=.03$ )
        - 気圧顕著図 ( $M=.42, SD=.09$ )  
>気温顕著図 ( $M=.35, SD=.08$ )
- Proportion of time spent viewing task-irrelevant regions.
  - インストラクションの効果
    - ◇ 気温の凡例領域の注視時間の割合に有意差あり
      - インストラクション前 ( $0.06, SD=.13$ )  
>インストラクション後 ( $0.01, SD=.04$ )
      - Wilcoxon signed-ranks test :  $Z=2.4, p<.05$
    - ◇ 気温の凡例領域に注視した試行数に有意差あり

- インストラクション前 ( $M=5.13/30$  試行,  $SD=9.98$ )
  - > インストラクション後 ( $M=2.16/30$  試行,  $SD=4.98$ )
- Wilconxon signed-ranks test :  $Z=1.99, p<.05$
- Map type の効果
  - ◇ 気温の凡例領域を注視していた時間の割合
    - インストラクション前：効果あり
      - 気温顕著図 ( $M=.11, SD=0.17$ )
        - > 気圧顕著図 ( $M=.01, SD=0.02$ )
      - Mann-Whitney  $U=106, Z=1.92, p=.09$
    - インストラクション後：効果なし
      - Mann-Whitney  $U=121, Z=1.31, ns$
- 視覚的に目立った部分へ注視していたか
  - インストラクション前後に有意差なし ( $t(15)=-.18, p=.85$ )
    - ◇ インストラクション前：0.035 ( $SD=.06$ )
      - ≡ インストラクション後：0.016 ( $SD=.01$ )
    - ◇ これらは面積から計算されたチャンスレベルの割合 (0.064) よりも小さい
      - ⇒ 目立っていても課題に関連しない領域の注視は多くない
- ◇ 正確性に関する実験 1 と実験 2 の比較
  - 図の表現の違いが成績に影響を与えるか
  - 実験 1 と実験 2 の正確性に有意差なし ( $F(1, 70)<1$ )
  - 実験回数とインストラクションの交互作用, 実験回数と Map type の交互作用なし ( $Fs<1.3, ps>.28$ )
- ◇ 実験 2 のまとめ
  - 実験 1 と同様に, 注視時間と正確性に乖離があることが確認された
  - しかし, 気圧顕著図条件の成績がインストラクション後によくなった原因として, インストラクション前の試行中に学習の構えができていた可能性が考えられる ⇒ プライミング仮説
  - 実験 3 ではこのプライミング仮説を検討する

### ◆ Experiment 3

- 実験 1, 2 ではインストラクション前もインストラクション後も同タイプの気象図を判定していた
- 実験 3 ではインストラクション前後で気象図のタイプを入れ替える
- 予想：プライミング仮説が正しいなら, インストラクション後の気象図のタイプにかかわらず, インストラクション前に気圧顕著図を見ていた参加者の, インストラクション後の正確性が高くなるだろう

➤ Method

◇ participants. : 大学生 80 名

◇ Materials and design

● 4 要因混合計画

➤ 被験者間

◇ インストラクション前の Map type

◇ インストラクション後の Map type

➤ 被験者内

◇ arrow type

◇ インストラクション前後

➤ 各 20 名が被験者間条件に配置

◇ 前 : 気象顕著図 / 後 : 気象顕著図条件

◇ 前 : 気温顕著図 / 後 : 気温顕著図条件

◇ 前 : 気象顕著図 / 後 : 気温顕著図条件

◇ 前 : 気温顕著図 / 後 : 気象顕著図条件

● 使用した質問紙は実験 2 とほぼ同じ

● 課題終了後に直接的な質問を追加

➤ 「インストラクション前に、風向きを推測するのに最も重要な変数は何だと思っていましたか」

➤ 「インストラクション後に、風向きを推測するのに最も重要な変数は何だと思いましたか」

◇ 手続きは実験 2 とほぼ同じ

➤ Result and Discussion

◇ Knowledge of meteorology

● 事前知識テスト

➤ 実験 2 と同様に条件間に有意差はなかった ( $F(3, 76) = 1.47, p = .22$ )

◇  $M = 6.3 / 14, SD = .13$

● Knowledge of Principles Questionnaire

➤ 同様に条件間に有意差はなかった ( $F(3, 75) = .76, p = .51$ )

◇  $M = 3.35 / 4, SD = .89$

⇒ Map type は知識の獲得には影響しない

◇ Response times.

● 各個人の反応時間の中で平均から 3SD 以上離れたものは分析から除外

➤ 実験 1 と同様にインストラクションの主効果あり ( $F(1, 76) = 6.65, p < .05$ )

- インストラクション前 ( $M=3.78s, SD=1.64$ )  
     <インストラクション後 ( $M=4.22s, SD=1.31$ )
- Map type の主効果, 2 要因の交互作用は有意ではなかった
- ☆ Effects of knowledge and display design on accuracy.
  - 正確に回答した割合を Figure 9 に示した
  - インストラクションの主効果有意
    - $F(1, 76)=75.97, p<.05$
    - インストラクション前 ( $M=.54, SD=.11$ )  
 <インストラクション後 ( $M=.68, SD=.14$ )
  - インストラクション前の Map type の主効果なし(有意傾向,  $F(1,76)<1$ )
    - その他の要因との交互作用もなし
  - インストラクション後の Map type の主効果有意傾向
    - $F(1, 76)=3.93, p=.05$
    - インストラクション前後との間に交互作用あり
      - ☆  $F(1, 76)=16.73, p<.001$
      - ☆ インストラクション後の正確性において
        - インストラクション後の Map type の単純主効果有意
          - 気圧顕著図>気温顕著図 ( $F(1, 76)=12.59, p=.001$ )
        - インストラクション前の Map type の単純主効果なし
          - $F(1, 76)<1$

⇒ 成績はインストラクション後の Map の表現の影響は受けるが, インストラクション前の Map の表現には影響されない

- ☆ 風向き推測に重要な要素アンケート
  - 気圧が重要であると回答した参加者数
  - 条件間に有意差なし
  - インストラクション前: 43 / 80 名
  - インストラクション後: 75 / 80 名
  - しかしこの宣言的な知識は, 成績には必ずしも反映されていない
- ☆ 実験 3 のまとめ
  - インストラクション前の Map type は成績に影響しない
  - インストラクション後の Map type は成績に影響した
  - 半数の参加者はインストラクション前から「気圧」が重要であると知っていた ⇒ 実験 1, 2 において, インストラクション前から気圧関連領域への注視が多かったのはこのため

## ◆ General Discussion

- Map の表現と知識が複雑な視覚的情報からの推論に与える影響を検討した
  - ◇ Map 表現は知識と相互作用して影響を与えた
  
- The Saliency Principle
  - ◇ 課題に関連した情報が見えやすい表現が成績に効果を及ぼすメカニズムとして考えられるもの
    - 視覚的に顕著な特徴が参加者の視線を課題関連領域にガイドして成績を向上させる（空間選択仮説）
    - 課題に関連した特徴を捉える能力を向上させる（特徴選択仮説）
    - 事前に見ていた表現が学習の構えを形成する（プライミング仮説）
      - ←実験 3 で否定
  - ◇ 空間選択仮説
    - 全体的に支持しているようであるが、実験 2 において気温顕著図においても課題に関連した注視が多いので、この仮説は疑問が残る
  - ◇ 特徴選択仮説
    - 本研究では基本的に知識の影響の大きさが確認された
    - Figure 2 において
      - Step1, 2 は知識の top-down 的处理の影響を大きく受ける
      - Step5, 7 において注意を維持し、比較を行ったりするとき視覚的な特徴の顕著さが効果を及ぼすと考えられる
  
- Effect of Knowledge
  - ◇ 本研究では 10～15 分のインストラクションによって、課題に関連した注視に効果があった
    - 熟達化やトレーニングが必要であるとする先行研究に反する新しい知見である（Charness et al., 2001; Haider & Frensch, 1996, 1999, 他）
  - ◇ 短い宣言的な領域知識でも大きい効果がある
  
- 視線は基本的には知識の top-down 的な影響を受けるが、複雑な視覚的情報からの推論課題の成績は、図の表現の影響を受ける
- 複雑な推論課題において、知識との相互作用によって図の表現の効果が表れることを確認した

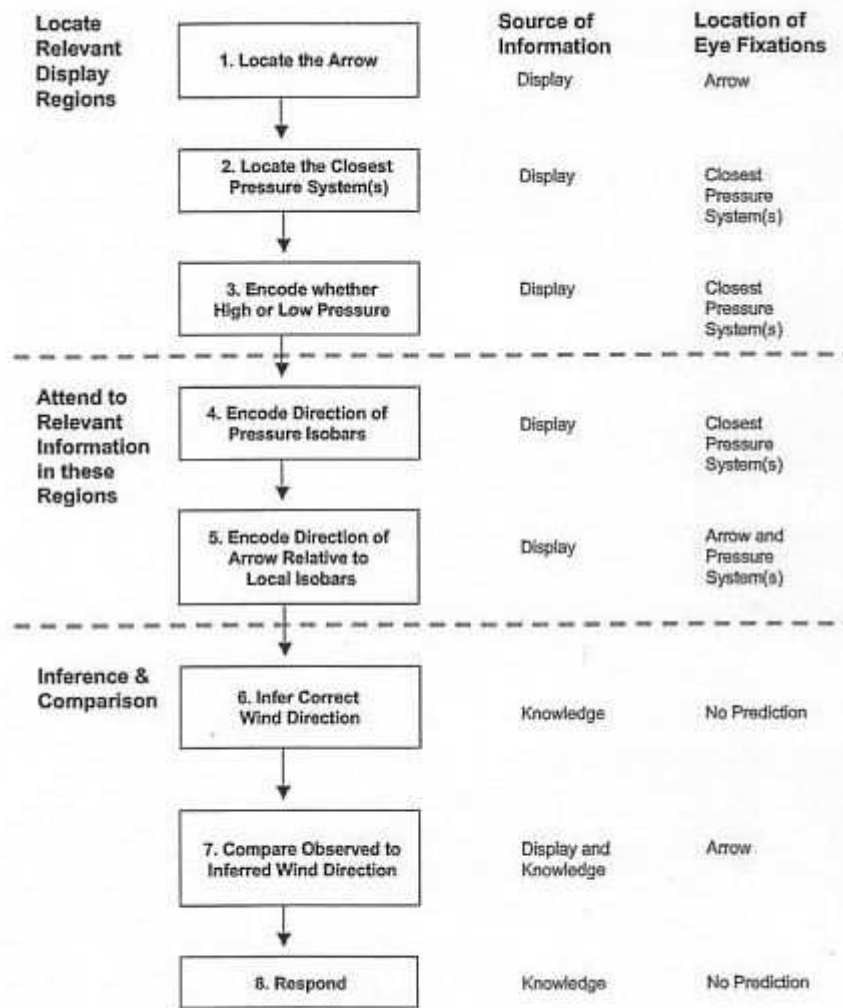


Figure 2. Informal task analysis of the wind inference task. In the case of each process, the information source (whether display or knowledge) and the location of eye fixations (part of display inspected, if relevant) are specified.

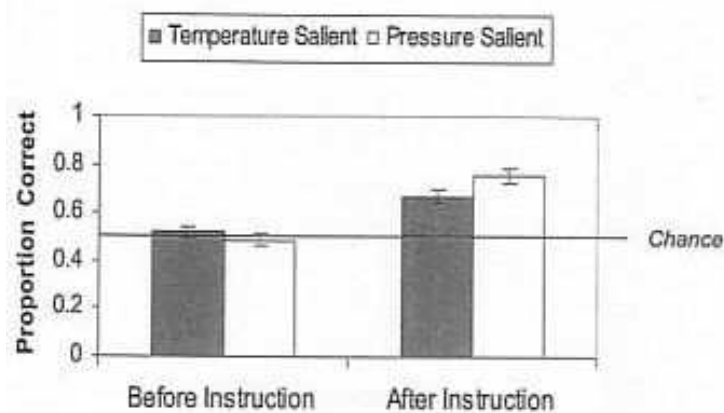


Figure 3. Mean accuracy before and after instruction (error bars show standard errors) in Experiment 1.

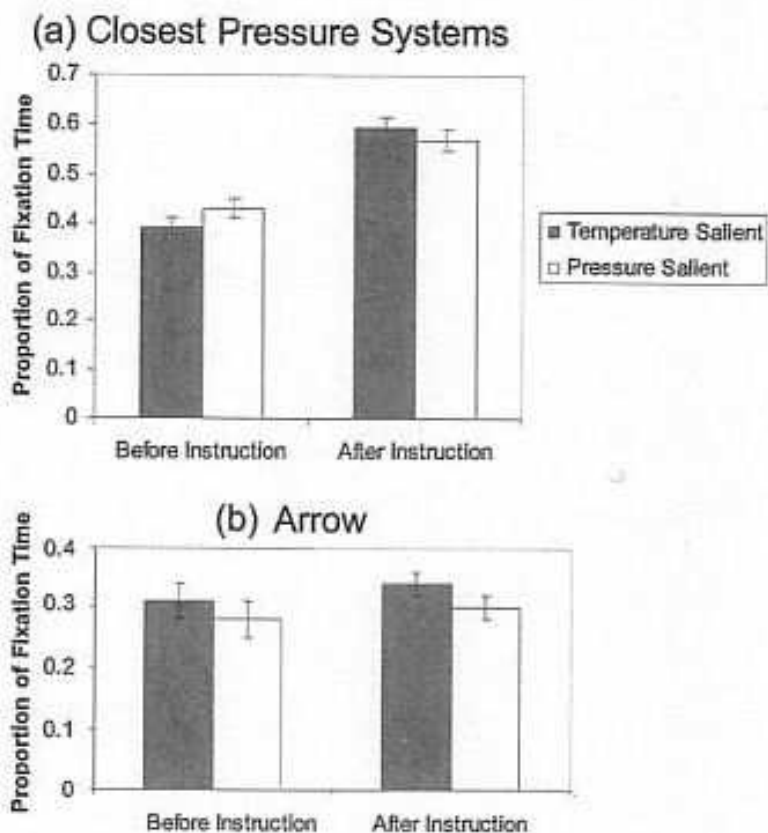


Figure 5. Mean proportion of fixation time on (a) the closest pressure system and (b) the arrow, before and after meteorology instruction in Experiment 1. Error bars show standard errors.

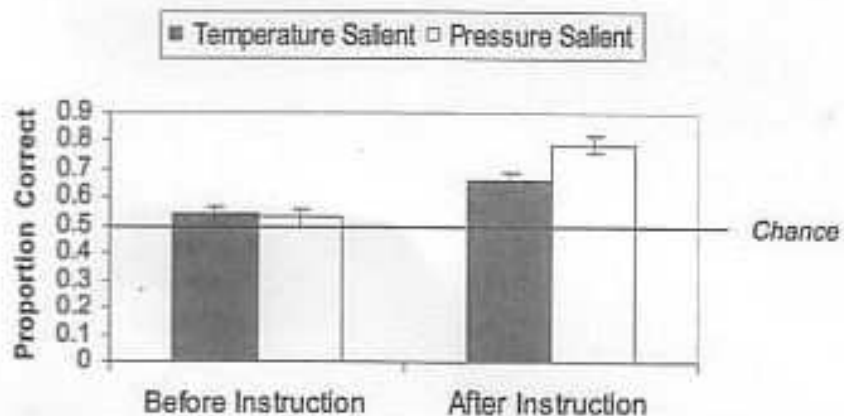


Figure 7. Mean accuracy before and after instruction (error bars show standard errors) in Experiment 2.

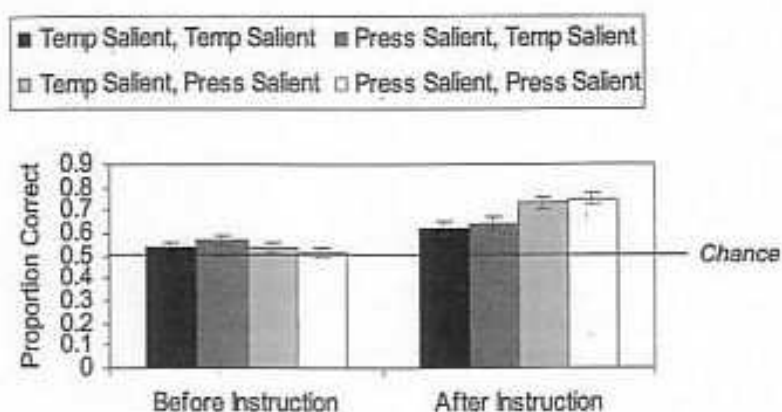


Figure 9. Mean accuracy for the four different experimental conditions in Experiment 3, before and after meteorology instruction. Error bars show standard errors. Temp = temperature; Press = pressure.

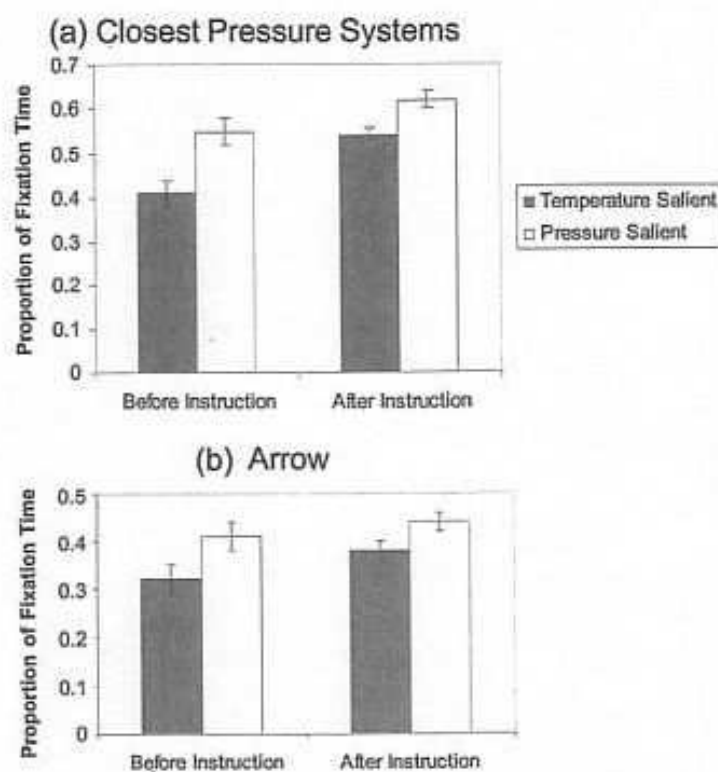


Figure 8. Mean proportion of fixation time on (a) the closest pressure systems and (b) the arrow, before and after meteorology instruction in Experiment 2. Error bars show standard errors.



Table 1  
*Mean Response Times in Seconds (Standard Deviations in Parentheses) for the Different Experimental Conditions in the Three Experiments, Before and After Participants Received Instruction in the Meteorological Principles*

Experiment	Before instruction	After instruction
Experiment 1		
Temperature salient	5.0 (2.5)	6.3 (2.1)
Pressure salient	5.3 (2.8)	5.9 (2.6)
Experiment 2		
Temperature salient	3.2 (1.4)	3.4 (1.3)
Pressure salient	3.0 (1.2)	3.6 (1.6)
Experiment 3		
Temperature salient, temperature salient	4.2 (1.6)	4.3 (1.1)
Temperature salient, pressure salient	3.3 (1.1)	3.6 (0.8)
Pressure salient, temperature salient	3.5 (1.6)	4.6 (1.4)
Pressure salient, pressure salient	4.1 (2.2)	4.3 (1.7)

Table 2  
*Mean Time (in Milliseconds) Prior to the First Fixations on the Arrow and Its Closest Pressure Systems Before and After Learning the Relevant Meteorological Principles in Experiments 1 and 2*

Area of interest	Before instruction	After instruction
Experiment 1		
Arrow		
Temperature salient	945 (367)	876 (379)
Pressure salient	1,143 (481)	979 (365)
Closest pressure system		
Temperature salient	832 (321)	728 (187)
Pressure salient	678 (197)	632 (147)
Second closest pressure system		
Temperature salient	1,462 (942)	1,520 (598)
Pressure salient	1,201 (497)	1,170 (568)
Experiment 2		
Arrow		
Temperature salient	892 (368)	681 (204)
Pressure salient	622 (154)	652 (218)
Closest pressure system		
Temperature salient	781 (399)	617 (121)
Pressure salient	534 (132)	485 (110)
Second closest pressure system		
Temperature salient	1,068 (753)	1,082 (419)
Pressure salient	913 (376)	989 (470)

Note. Standard deviations are shown in parentheses.

Table 3  
*Mean Minimum Distance in Pixels (Standard Deviations in Parentheses) Between Task-Relevant Areas of the Map (the Arrow and Pressure Systems) and Task-Irrelevant Areas (the Temperature Scale) and the Four Most Salient Areas, as Defined by Itti, Koch, and Niebur's (1998) Model*

Area of interest	Temperature salient (Experiments 1 and 2)	Pressure salient (Experiment 1)	Pressure salient (Experiment 2)
Arrow	176 (98)	119 (83)	24 (22)
Closest pressure system	188 (109)	173 (112)	9 (6)
Second closest pressure system	96 (52)	97 (59)	14 (20)
Temperature scale	83 (106)	49 (63)	281 (106)

Note. The size of each image was 800 × 600 pixels.

