

反事実的表現を考慮した潜在的交通事故リスク指標の定式化とその性質

山田健太郎 総合研究大学院大学 統計科学専攻 博士課程5年

(指導教官：黒木学 教授)

【背景】

Perkins and Harris (1967)が潜在的な交通事故リスクを評価するために交通コンフリクト技術を開発して以降、様々な手法が出現

- 主観的手法：回避行動の有無を観察により評価 (GM手法)
- 客観的手法：時間・距離などに基づき評価 (TTC, TTC2nd等)

交通コンフリクトとは(ICTCTによる定義)

"A traffic conflict is an observable situation in which two or more road users approach each other in space and time to such an extent that there is a risk of collision if their movements remain unchanged." (Amundsen and Hyden, 1977)

【既存の交通事故リスク指標の問題点】

Davis et al. (2011)を除き、交通コンフリクトの定義にある反事実表現 "there is a risk of collision if their movements remain unchanged." が考慮された交通事故リスク指標はこれまで開発されていない

【Davis et al. (2011)によるアプローチ】

データ生成メカニズム

交通事故の背後には、それを生成させるメカニズムが存在する

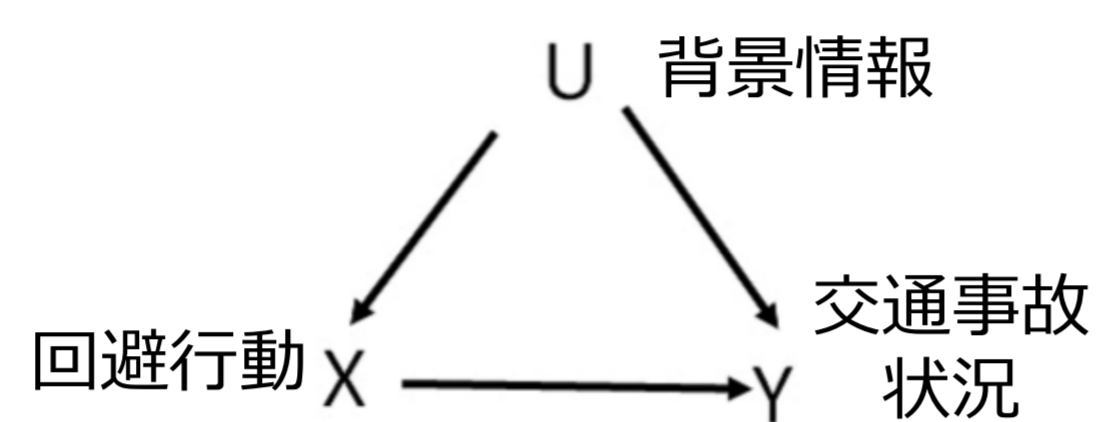


図1：交通事故の生成過程

構造的因果モデルに基づくリスク指標

を提案 $pr(Y > y | U_2)$

	回避行動あり x_1	回避行動なし x_0
危険なドライバー群 U_1	衝突あり $Y \leq y$	衝突あり $Y \leq y$
標準的なドライバー群 U_2	衝突なし $Y > y$	衝突あり $Y \leq y$
安全なドライバー群 U_3	衝突なし $Y > y$	衝突なし $Y > y$
不運なドライバー群 U_4	$Y \leq y$	$Y > y$

図2：ハインリッヒの法則と背景情報との関係

Davis et al.(2011)の問題点

- 背景情報の分類方法が直感的
- データによる推定可能条件が与えられていないため、どのような仮定の下で、何を観測すれば評価できるのかわからない

【提案尺度:PRIC】

ドライバーが持つ潜在的な反応に基づいて背景情報を分類する

PRIC (Potential Response Inspired Conflict)

$$PRIC = pr(Y > y | Y_{x_1} > y, Y_{x_0} \leq y)$$

事実表現 反事実表現

Y_{x_1} : ドライバーが回避行動をとったときに観測されるリスク状態

Y_{x_0} : ドライバーが回避行動をとらなかったときに観測されるリスク状態

基本的性質

$$pr(Y > y | Y_{x_1} > y, Y_{x_0} \leq y) = pr(x_1 | Y_{x_1} > y, Y_{x_0} \leq y)$$

識別可能条件

条件1：母集団に標準的なドライバーしかいない($pr(Y_{x_1} > y, Y_{x_0} \leq y) = 1$)場合

$$PRIC = pr(x_1) = pr(Y > y)$$

条件2： $X = x_1$ について外生性($X = x_1 \perp\!\!\!\perp \{Y_{x_1}, Y_{x_0}\}$)が成り立つ場合

$$PRIC = pr(x_1)$$

条件3：単調性($pr(Y_{x_1} \leq y, Y_{x_0} > y) = 0$)、および $pr(Y_x > y)$ が推定可能である場合

$$PRIC = \frac{pr(Y > y) - pr(Y_{x_0} > y)}{pr(Y_{x_1} > y) - pr(Y_{x_0} > y)} pr(x_1)$$

$pr(Y_x > y)$ はバックドア基準、フロントドア基準などに基づいて評価

存在範囲

状況1：交通事故リスクの程度を認知しやすい運転状況

$$pr(x_1 | Y_{x_1} > y, Y_{x_0} \leq y) \geq \max\{pr(x_1 | Y_{x_1} > y, Y_{x_0} > y), pr(x_1 | Y_{x_1} \leq y, Y_{x_0} \leq y)\}$$

$$pr(Y_{x_1} \leq y, Y_{x_0} \leq y) \geq pr(Y_{x_1} > y, Y_{x_0} > y)$$

$$\frac{pr(x_1, Y > y)}{pr(x_1, Y > y) + pr(x_0, Y \leq y)} \leq PRIC \leq 1$$

状況2：交通事故リスクの程度を認知しにくい運転状況

$$\frac{1}{2} \leq PRIC \leq \frac{pr(x_1, Y > y)}{pr(x_1, Y > y) + pr(x_0, Y \leq y)}$$

【数値例】

TTCなどの既存の交通事故リスク指標は経験的にワイブル分布にしたがう (St-Aubin et al., 2011)

$$pr(Y_{x_0} > y_0, Y_{x_1} > y_1 | x_j; \alpha_j, \gamma_{0j}, \gamma_{1j}, \lambda_{0j}, \lambda_{1j}) = \exp\left(-\left(\left(\frac{y_0}{\lambda_{0j}}\right)^{\frac{\gamma_{0j}}{\alpha_j}} + \left(\frac{y_1}{\lambda_{1j}}\right)^{\frac{\gamma_{1j}}{\alpha_j}}\right)^{\alpha_j}\right)$$

この分布に基づいて、「PRIC」と「既存の指標を表現した $pr(Y > y)$ 」の形状を比較

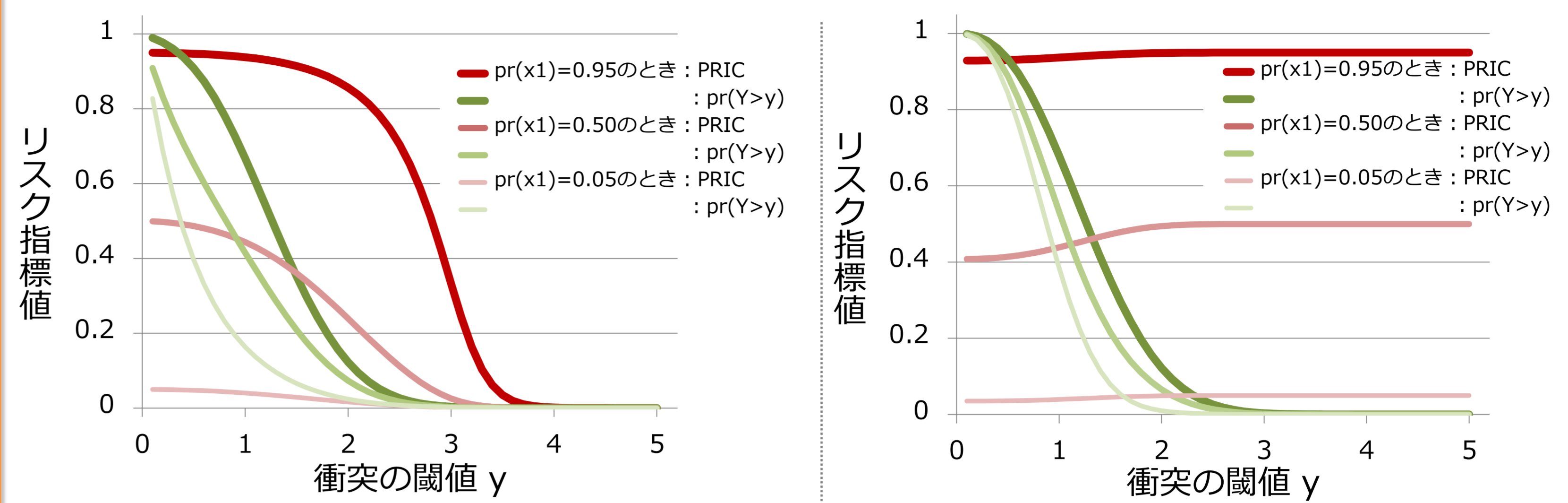


図3：PRICと $pr(Y > y)$ の比較
(a) 尺度パラメータの違い $(\alpha_0, \alpha_1) = (0.10, 0.10), (\gamma_{0j}, \gamma_{1j}) = (1.00, 2.50), (\lambda_{0j}, \lambda_{1j}) = (0.50, 2.00), (\lambda_{0j}, \lambda_{1j}) = (0.50, 1.50) (j = 0, 1)$
(b) 関連パラメータの違い $(\alpha_0, \alpha_1) = (0.90, 0.10), (\gamma_{0j}, \gamma_{1j}) = (2.50, 2.50), (\lambda_{0j}, \lambda_{1j}) = (1.00, 1.50), (j = 0, 1)$

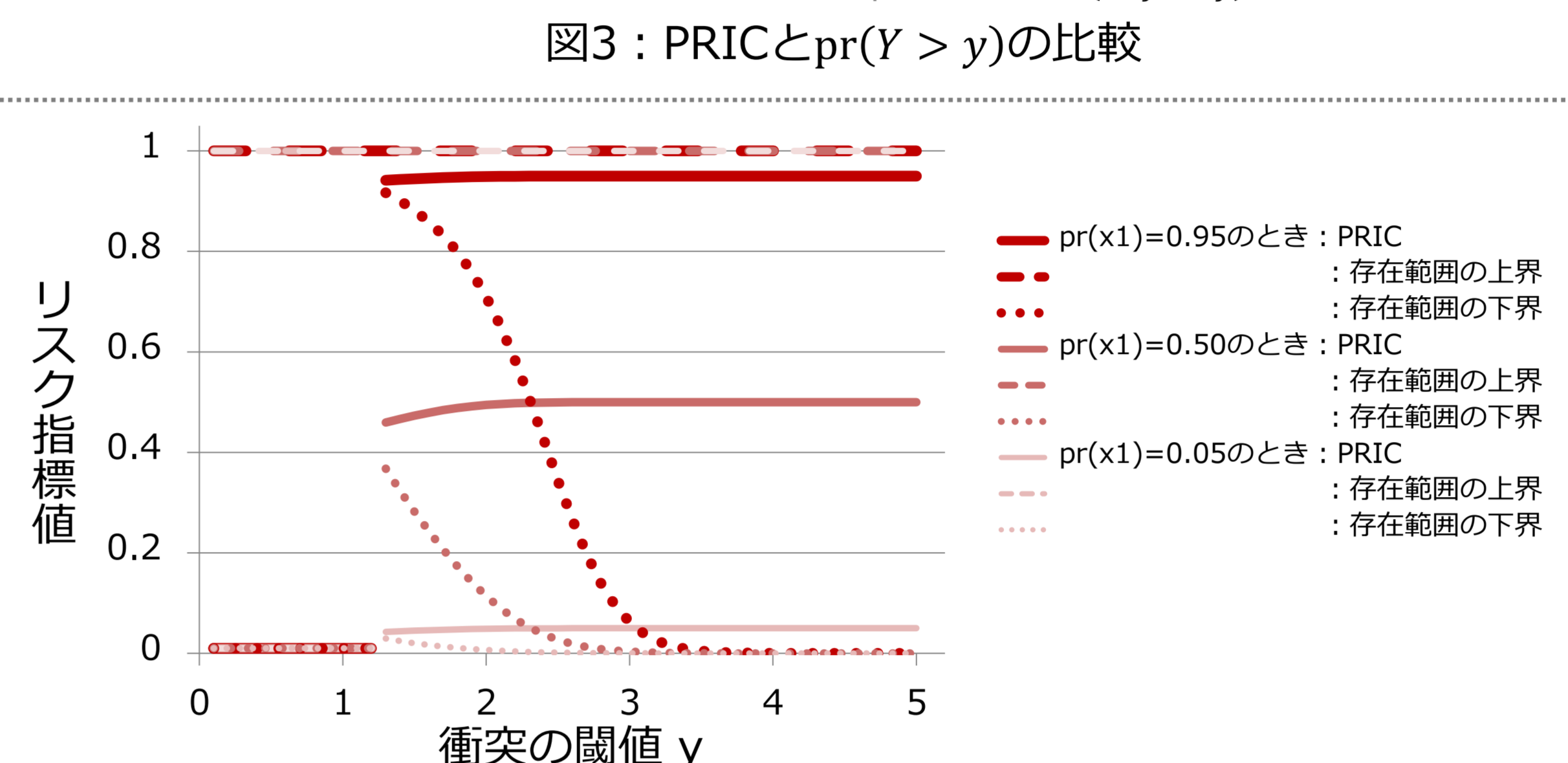


図4：関連パラメータが異なる図3(b)と同じ設定でのPRICと存在範囲の関係

【“The 100-Car Naturalistic Driving Study” への適用】



図5：運転ログシステム



図6：Rear-endリスク状況の例

後続車両を観察対象とした場合

表1：後続車両のドライバーが観察対象の場合のデータ

	回避行動あり(x_1)	回避行動なし(x_0)
衝突事故 ($Y \leq y$)	8	7
ニアミス事故 ($y < Y \leq y'$)	380	0
インシデント ($Y > y'$)	5754	29

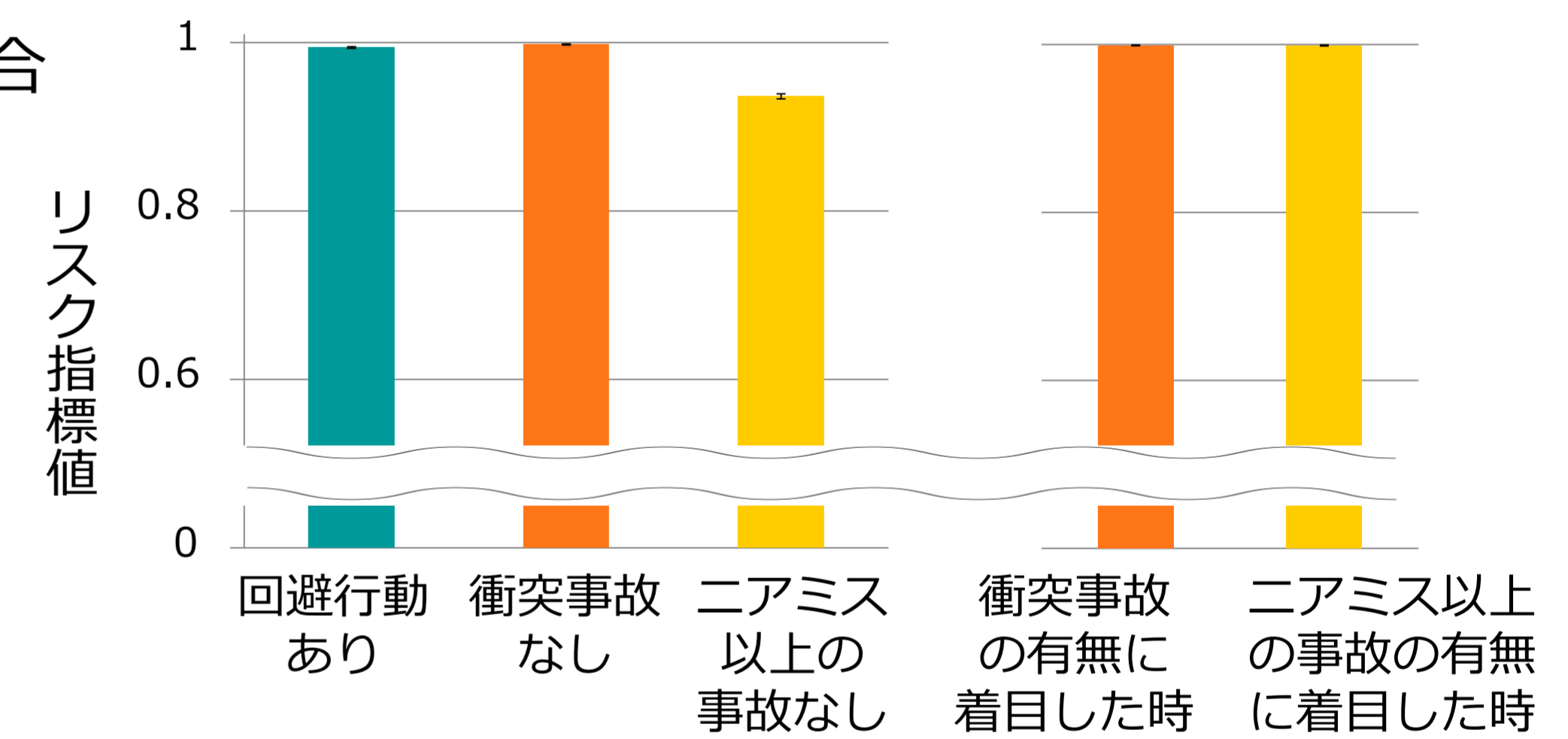


図7：表1における既存のリスク指標とPRIC

前走車両を観察対象とした場合

表2：前走車両のドライバーが観察対象の場合のデータ

	回避行動あり(x_1)	回避行動なし(x_0)
衝突事故 ($Y \leq y$)	5	7
ニアミス事故 ($y < Y \leq y'$)	49	21
インシデント ($Y > y'$)	415	349

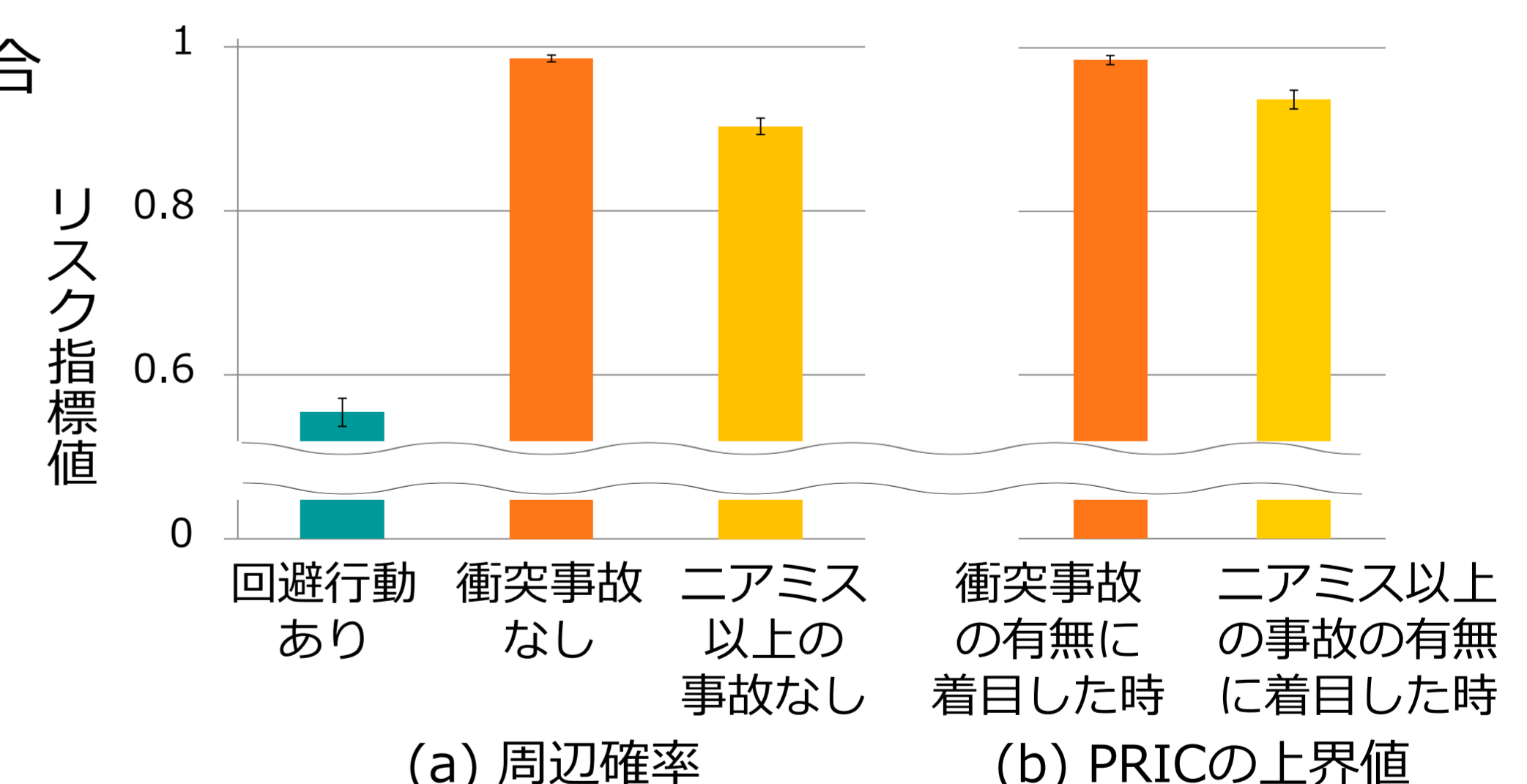


図8：表2における既存のリスク指標とPRIC

【まとめ・課題】

構造的因果モデルの枠組みを利用して、反事実表現を考慮した交通事故リスク指標としてPRICを提案し、その性質を明らかにした。

既存の交通事故リスク指標とは異なり、PRICはドライバーの回避行動を反映したリスク指標

時系列データへ適用するためのフレームワークの構築が今後の課題

【参考文献】

- [1] Amundsen, F. and Hyden, C. (1977). First workshop on traffic conflicts, Institute of Transport Economics.
- [2] Davis, A., Hourdos, J., Xiong, H., and Chatterjee, I. (2011). Outline for a causal model of traffic conflicts and crashes, *Accident Analysis and Prevention*, **43**, 1907-1919.
- [3] Pearl, J. (2009). *Causality: Models, reasoning, and inference*, The 2nd Edition. Cambridge University Press (黒木学訳 (2009). 「統計的因果推論-モデル・推論・推測-」, 共立出版).
- [4] Perkins, R. and Harris, I. (1967). Traffic conflict characteristics: Accident potential at intersections. General Motors Research Publication, GMR-718.
- [5] St-Aubin, P., Miranda-Moreno, L. F. and Saunier, N. (2011). Analysis of driver behavior and collision risks for protected freeway entrance and exit ramps: trajectories and surrogate safety measures. *The 21st Canadian multidisciplinary road safety conference*, Halifax, Nova Scotia.