

Integrated choice and latent variable (ICLV) model



名古屋大学 山本俊行

報告内容

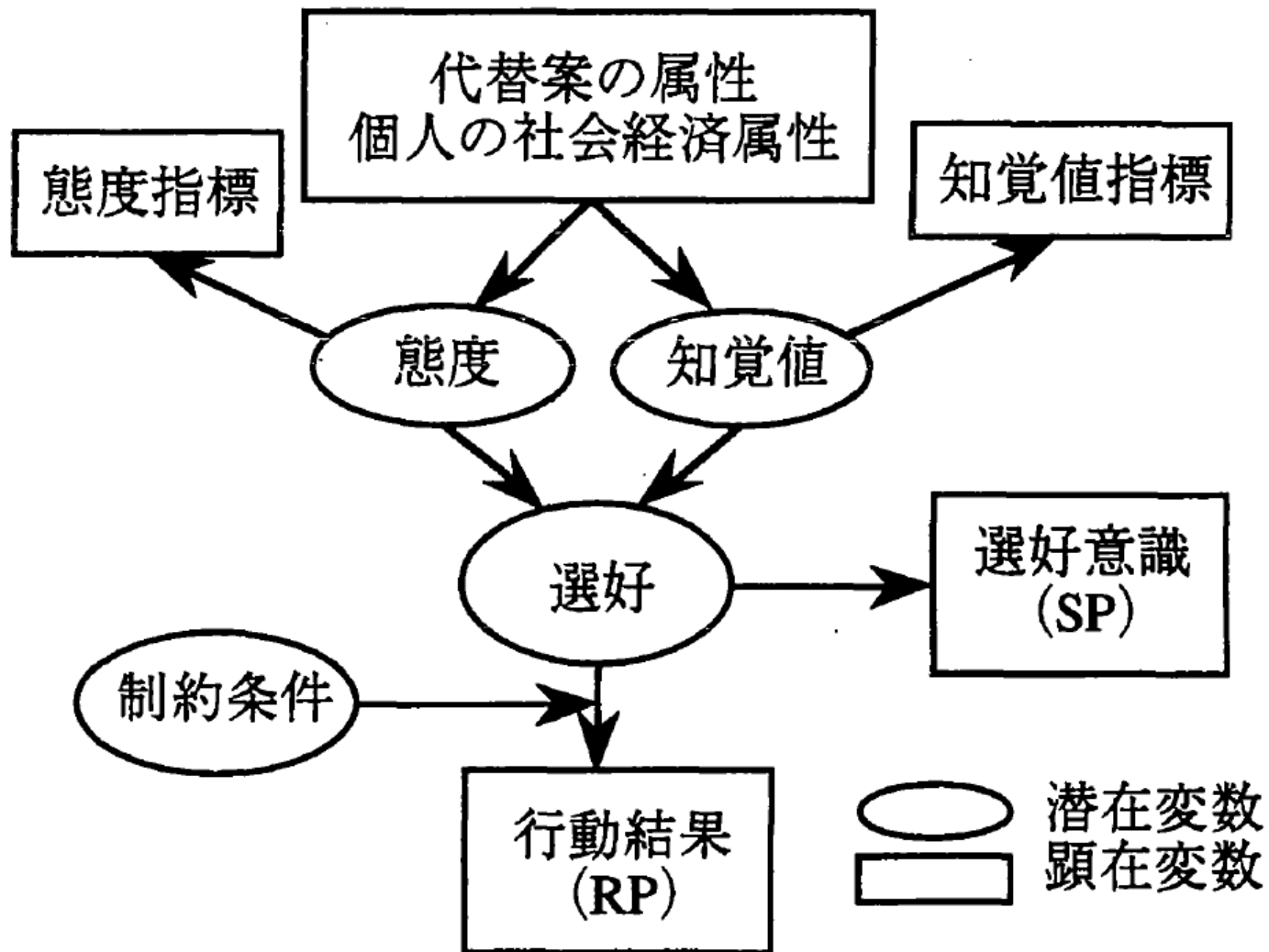
- ICLVモデルの概要
- 媒介変数・調整変数
- 選択プロセスの解明

(2017年の第16回行動モデル夏の学校の内容を拡張しました)

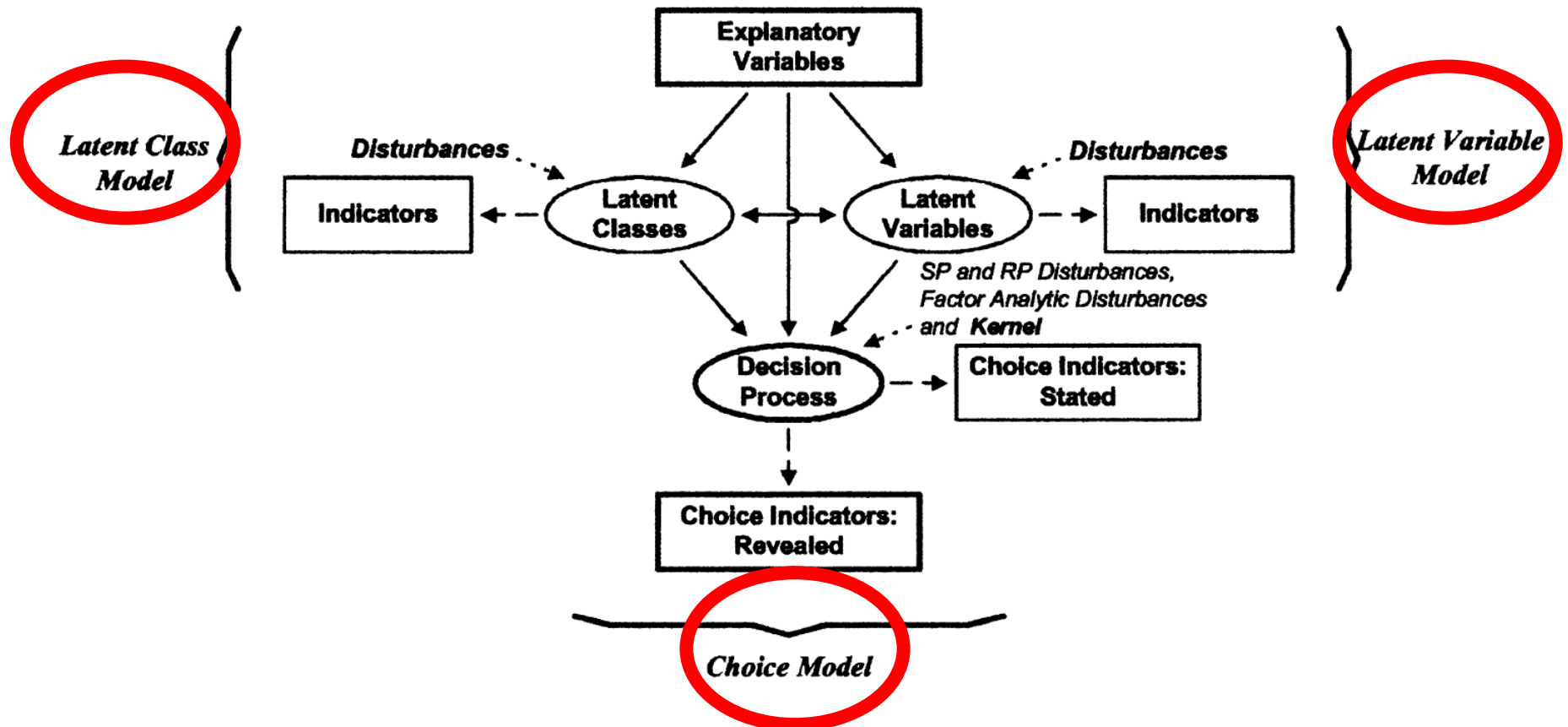
ICLV (integrated choice and latent variable) モデル

- 客観的サービス水準や社会経済属性だけでは離散選択行動を十分に表現できない場合
 - 社会経済属性以外の個人差が大きい
 - 個人間でサービス水準の捉え方が異なる
 - もっと主観的な要因が選択に大きく影響する
- 従来は非観測 (latent) だった変数を離散選択モデルに導入 (e.g., 森川・佐々木, 1993; 佐々木, 1998; Walker and Ben-Akiva, 2002)

ICLVモデル (森川・佐々木, 1993)



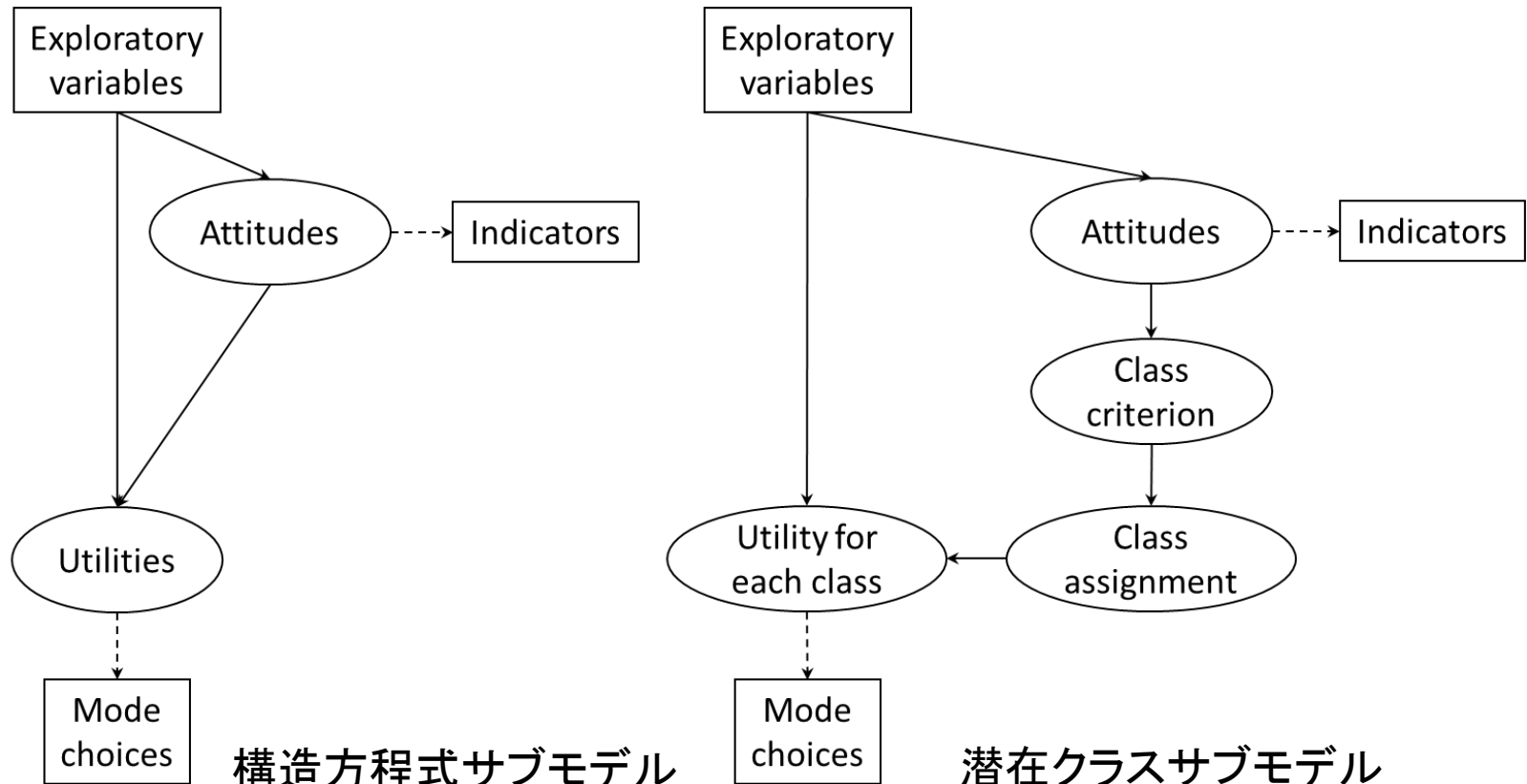
ICLVモデル (Walker and Ben-Akiva, 2002)



離散選択モデルと構造方程式モデルや潜在クラスモデルの統合

構造方程式サブモデルと潜在クラスサブモデルを比較した例

- 環境意識と運動に対する態度が交通手段選択に及ぼす影響の分析 (Tran et al, 2020a)



ICLVモデルの推定

- 段階推定法

- 構造方程式サブモデルを推定し、潜在変数を同定した上で、離散選択サブモデルに導入して推定
(ネスティッドロジットモデルの段階推定と同様)
- 計算負荷は低いが推定精度も低い

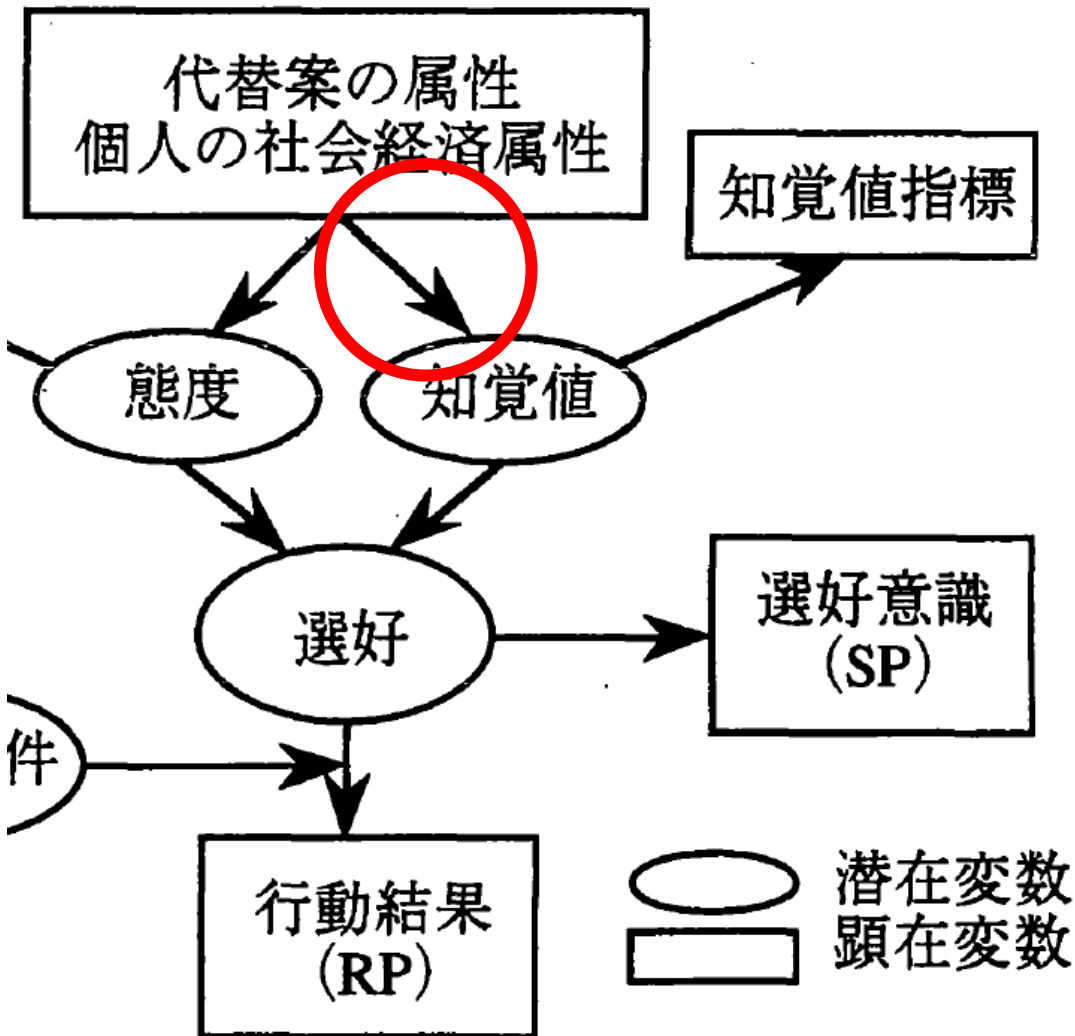
- 同時推定法

- 構造方程式サブモデルと離散選択サブモデルを同時に推定
- 計算負荷は高いが推定精度も高い
- 無料ソフトも出てきている (Biogeme, Apollo等)
- (離散選択サブモデルが二項選択の場合, ADF-WLS等で全体を構造方程式モデルとして推定することもある)

ICLVモデルに対する批判

- 潜在変数(主観的要因)は内生性によるバイアスが大きすぎる(Chorus and Kroesen, 2014)
 - ある交通手段を快適だと思うのは既に使っているから...
- 選択行動の将来予測のためには潜在変数の将来値が必要だが, 入手が困難
 - 将来の電車の快適性ってどう予測する?
 - 将来も変化しないなら定数項で十分

潜在変数の将来予測



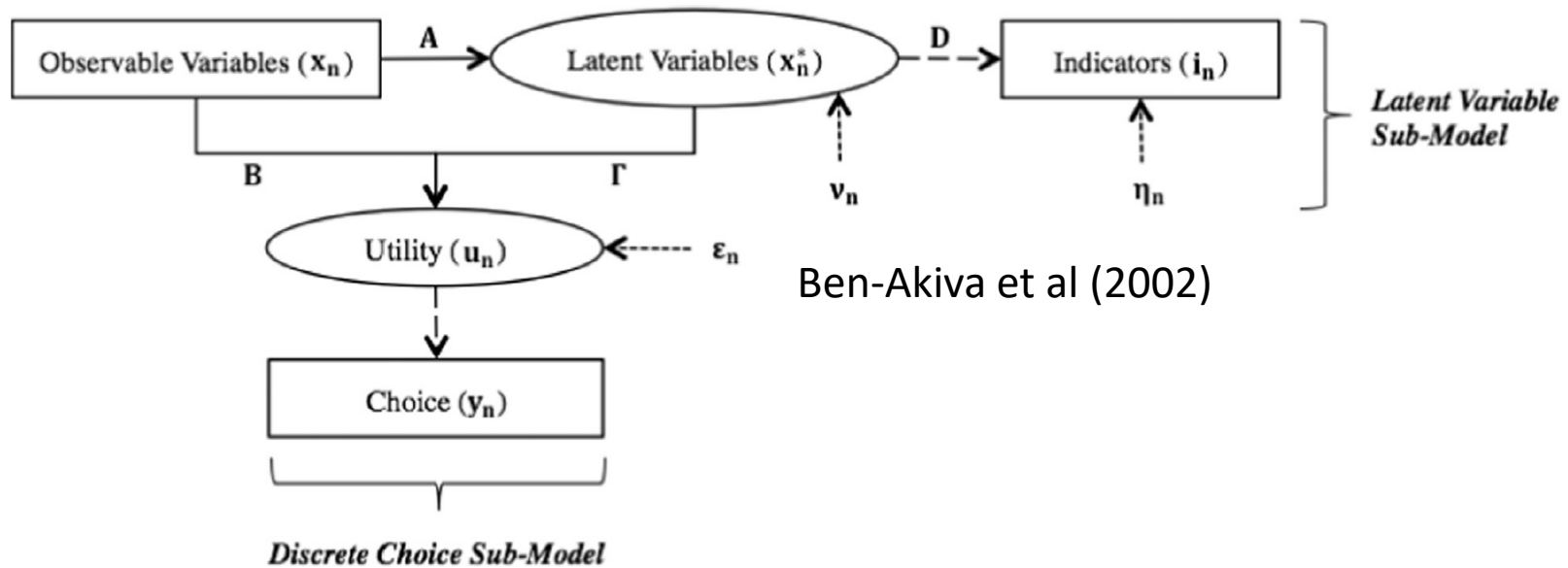
- 予測でなく, 長期モニタリングする(原, 2017)
- 客観的属性, 社会経済属性と潜在変数の間をモデル化する

ICVLモデルの有用性 (Vij and Walker, 2016)

ICVLモデルは多くの場合、潜在変数を含まない
Mixed logitモデル等のモデルで代替できるが...

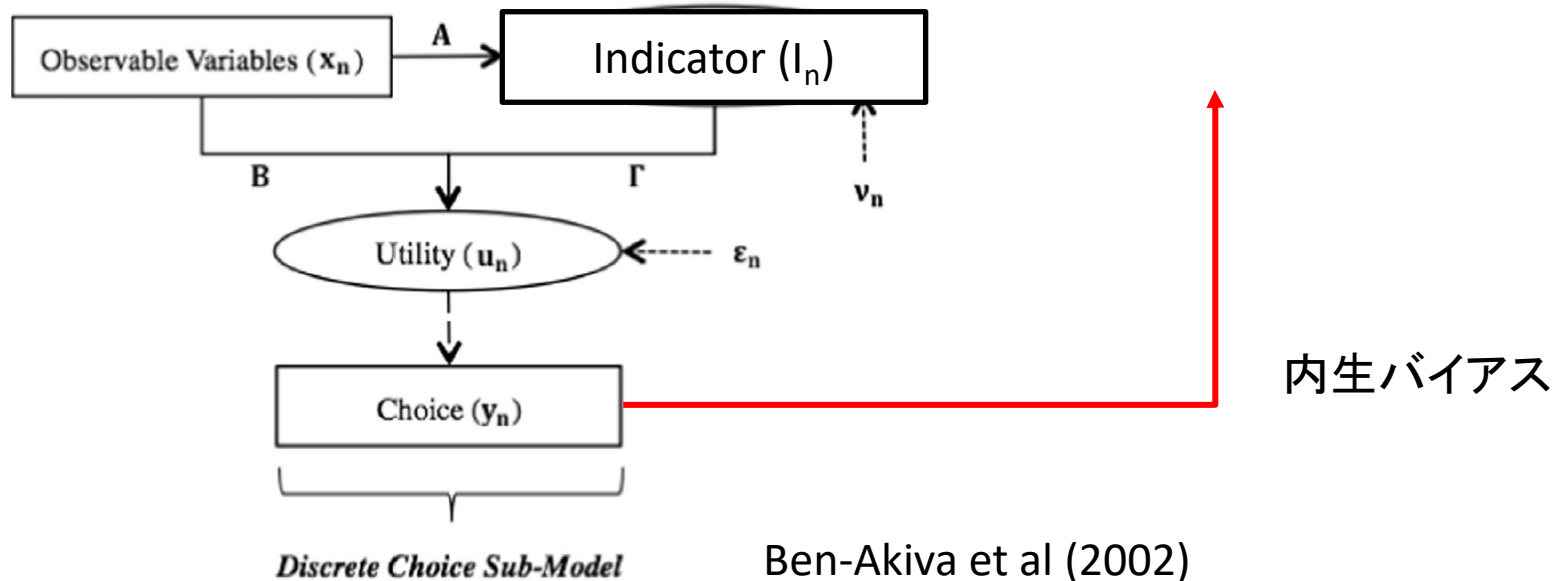
- 観測変数が入手可能で、客観的変数による潜在変数の説明力が低い時、予測精度が向上する
- 観測誤差等のバイアスを補正できる
- 推定値の標準誤差を減少できる
- 潜在変数の影響を定量化できる
- 因果関係等の構造関係を同定できる

「観測変数が入手可能で、客観的変数による潜在変数の説明力が低い時、予測精度が向上する」とは？



- 潜在変数(x_n^*)が効用に及ぼす影響(Γ)は、潜在変数が客観的な変数(x_n)によって十分に説明されるなら、潜在変数を考慮しなくても、客観的な変数から効用への影響(B)で表現されるため、潜在変数は不要
- ただし、Aの説明力が低くて、Dの説明力が高いなら、潜在変数を導入すると予測精度が向上する

「観測誤差等のバイアスを補正できる」とは？



- 潜在変数 (x_n^*) の代わりに観測変数 (I_n) を直接離散選択モデルに入れた方が早いのではないか？
- 観測変数は内生性によるバイアス (8頁参照) を受けるため、潜在変数を導入することでバイアスを補正できる

ICVLモデルの有用性 (Vij and Walker, 2016)

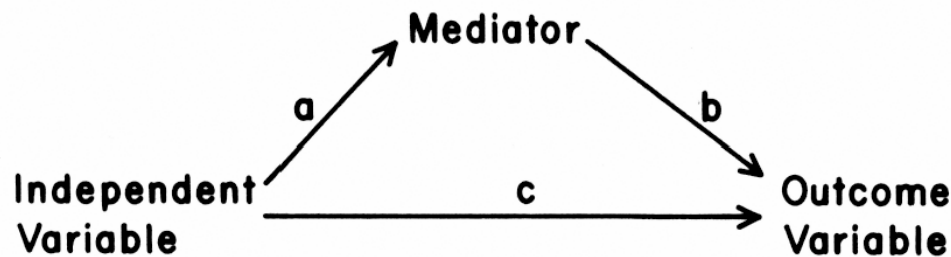
ICVLモデルは多くの場合、潜在変数を含まない Mixed logitモデル等のモデルで代替できるが...

- 観測変数が入手可能で、客観的変数による潜在変数の説明力が低い時、予測精度が向上する
- 観測誤差等のバイアスを補正できる
- 推定値の標準誤差を減少できる
- 潜在変数の影響を定量化できる
- 因果関係等の構造関係を同定できる

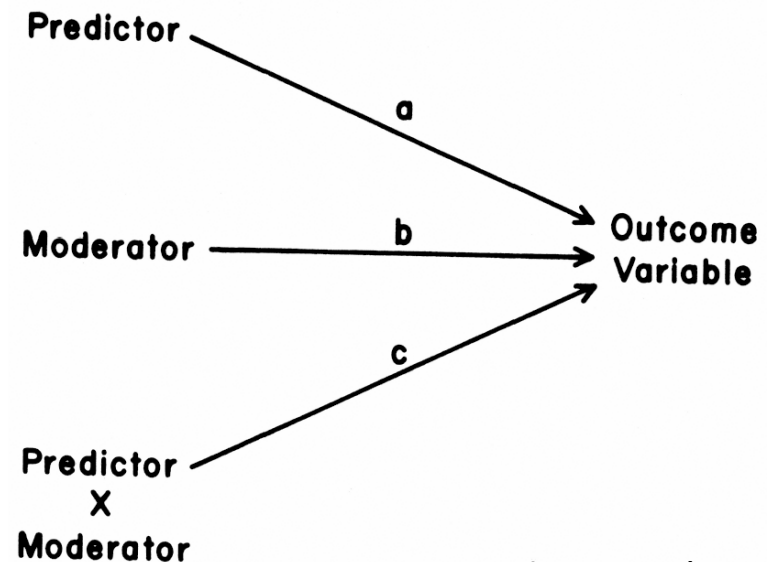
媒介変数・調整変数

- 社会心理学等で変数間の関係を把握するために用いられる概念
(outcome variableは離散選択の結果とは限らない)

媒介変数 (mediator)

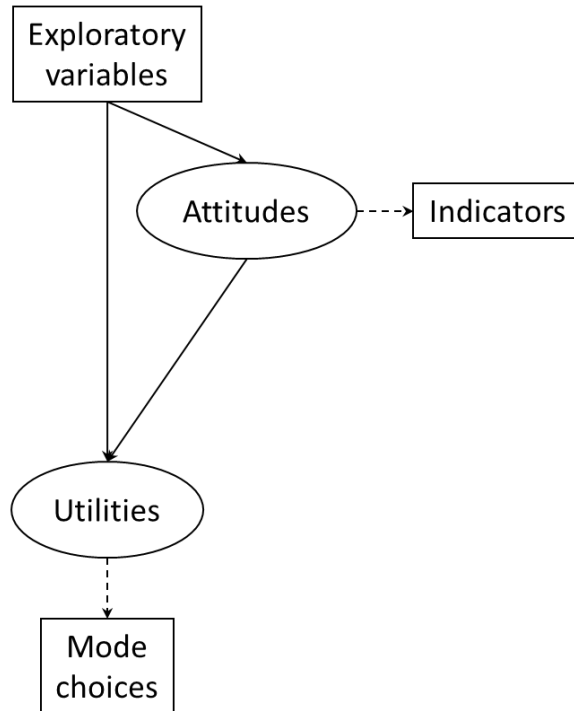


調整変数 (moderator)

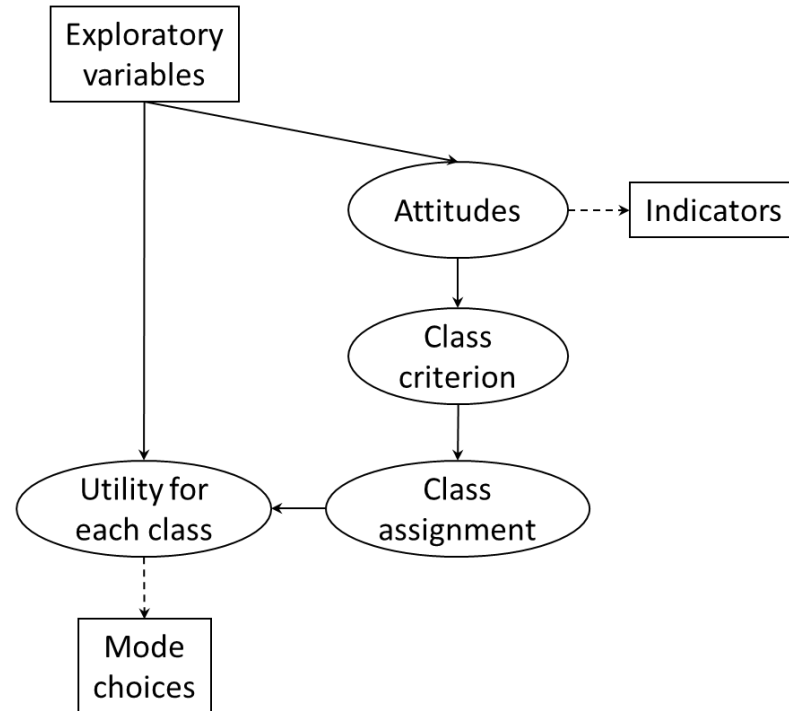


媒介変数・調整変数とICLVモデルにおける構造方程式サブモデル・潜在クラスサブモデルとの関係

構造方程式サブモデル
= 媒介変数タイプ



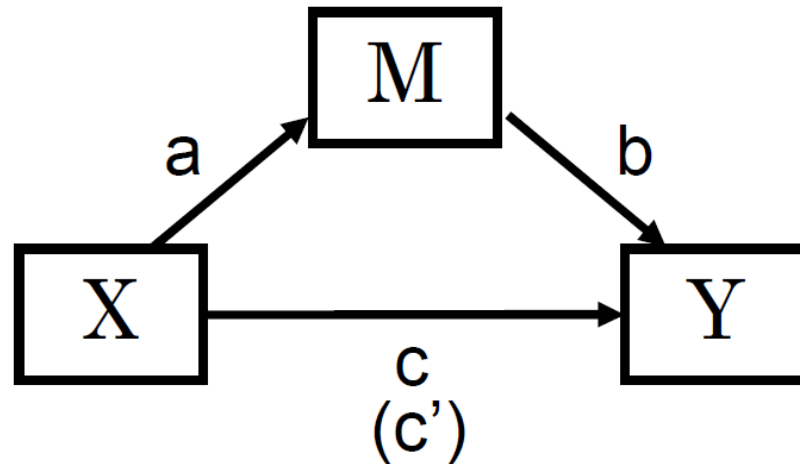
潜在クラスサブモデル
= 調整変数タイプ



どちらを用いるかは概念的妥当性で決定すべきだが、モデル構造としては調整変数タイプの方が柔軟

- 構造方程式サブモデルでは効用の定数項のみ影響を受けるが、潜在クラスサブモデルでは所要時間や費用等のパラメータも潜在変数の影響によって変化する

媒介分析 (村山, 2009)

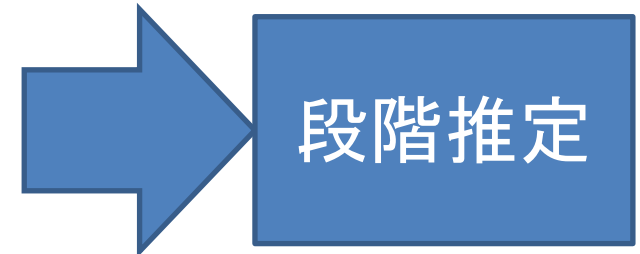


1. $Y = \text{intercept} + c'X + e$

2. $M = \text{intercept} + aX + e$

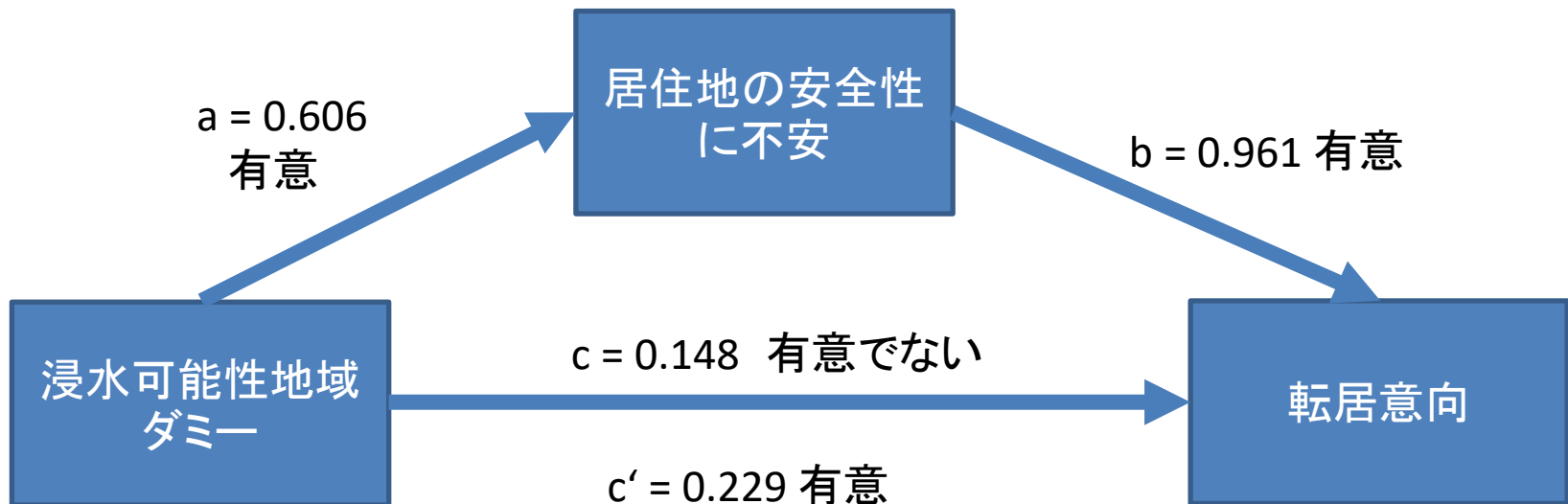
3. $Y = \text{intercept} + cX + bM + e$

- c', a, b が有意か確認する
- c が有意でなかったり, 係数の絶対値が c' より小さい場合に媒介していると判断



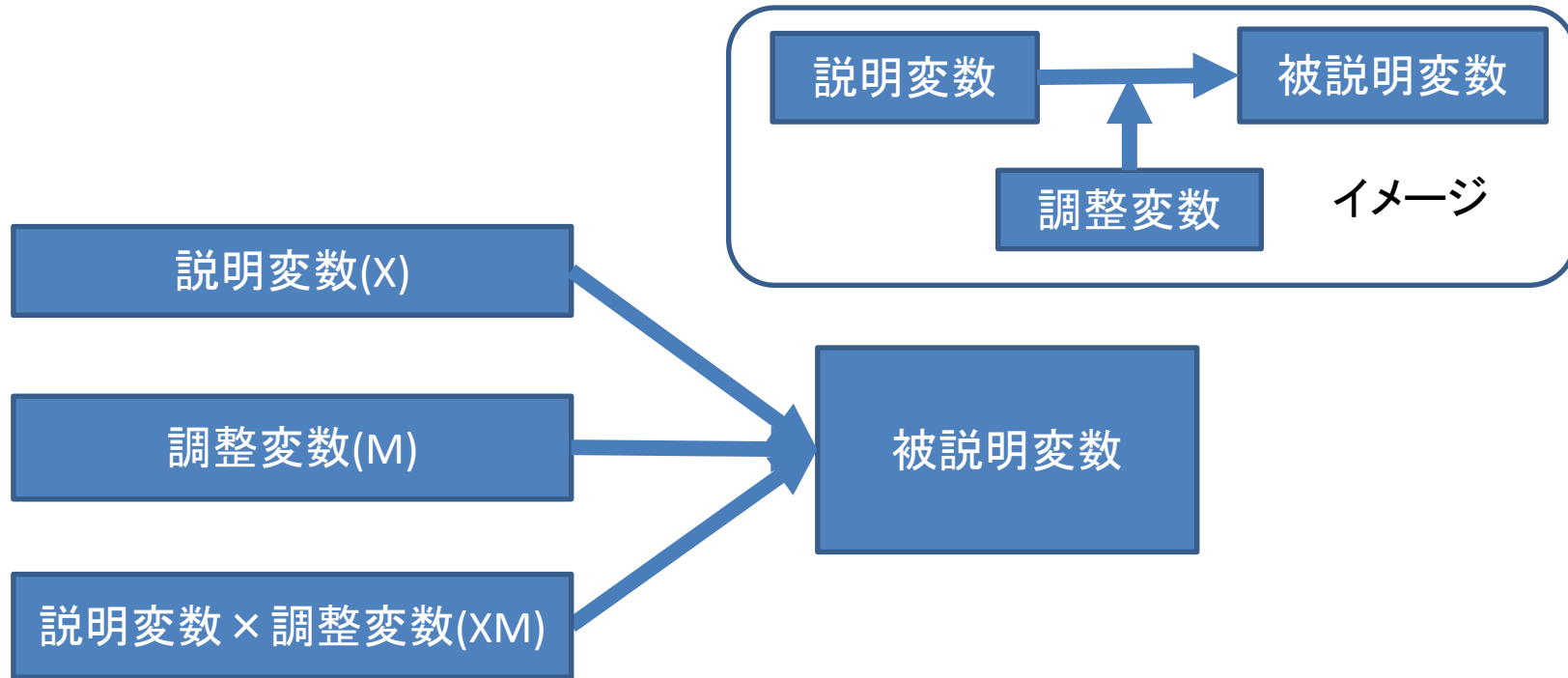
媒介分析例

- 浸水危険性のある居住地からの転居意向の分析(王・山本, 2015)



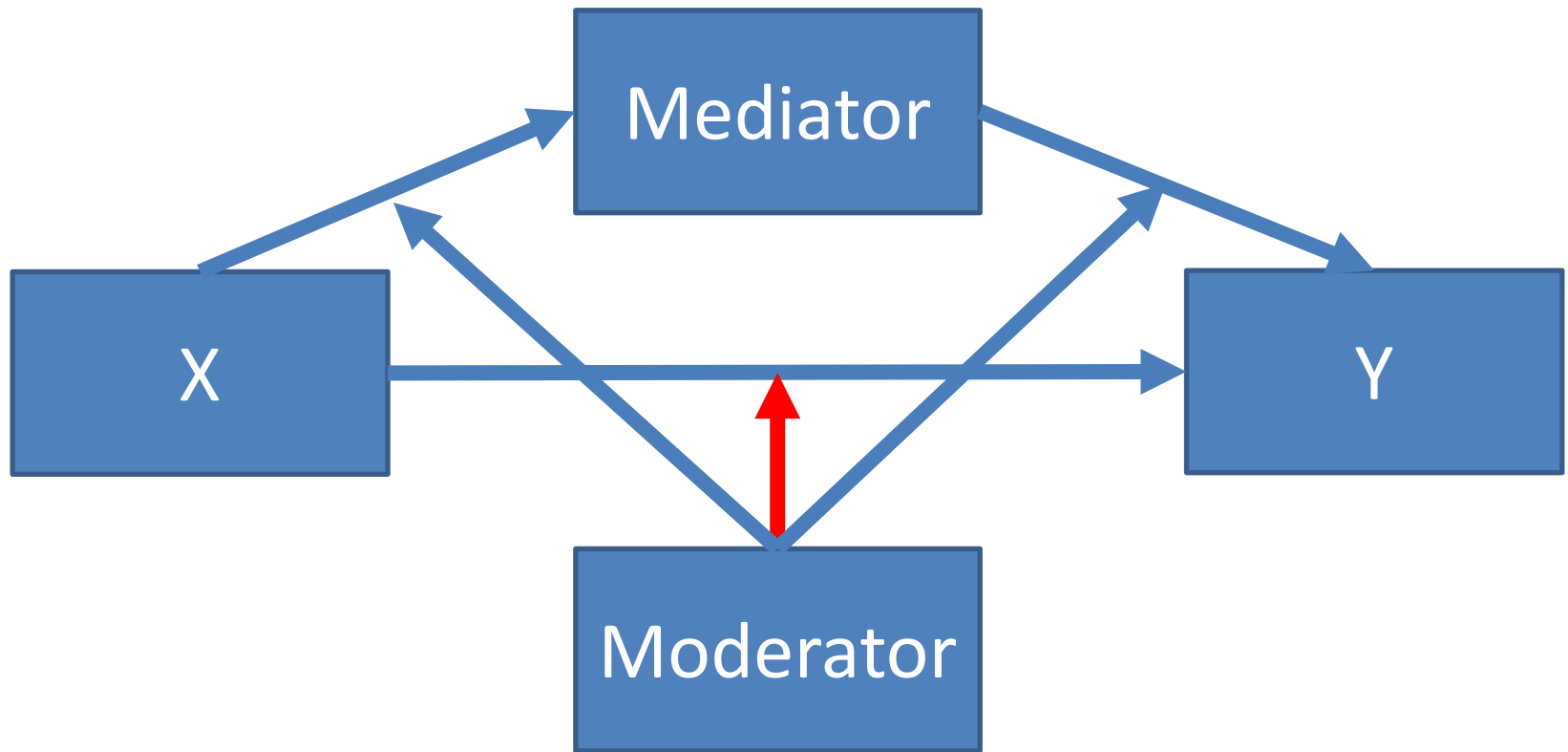
上記は段階推定の結果ですが、同時推定でも同様の結果が得られました

調整効果の分析



- 調整変数が連続変数の場合, 分散分析よりも検定力が高い
- 検証時は交互作用項と一緒に調整変数の直接効果も入れること
- 交互作用項は $(X - \bar{X}) \times (M - \bar{M})$ と平均値で標準化した方がよい
- 説明変数(X)と調整変数(M)は式の上では区別できない
→理論的な妥当性が重要

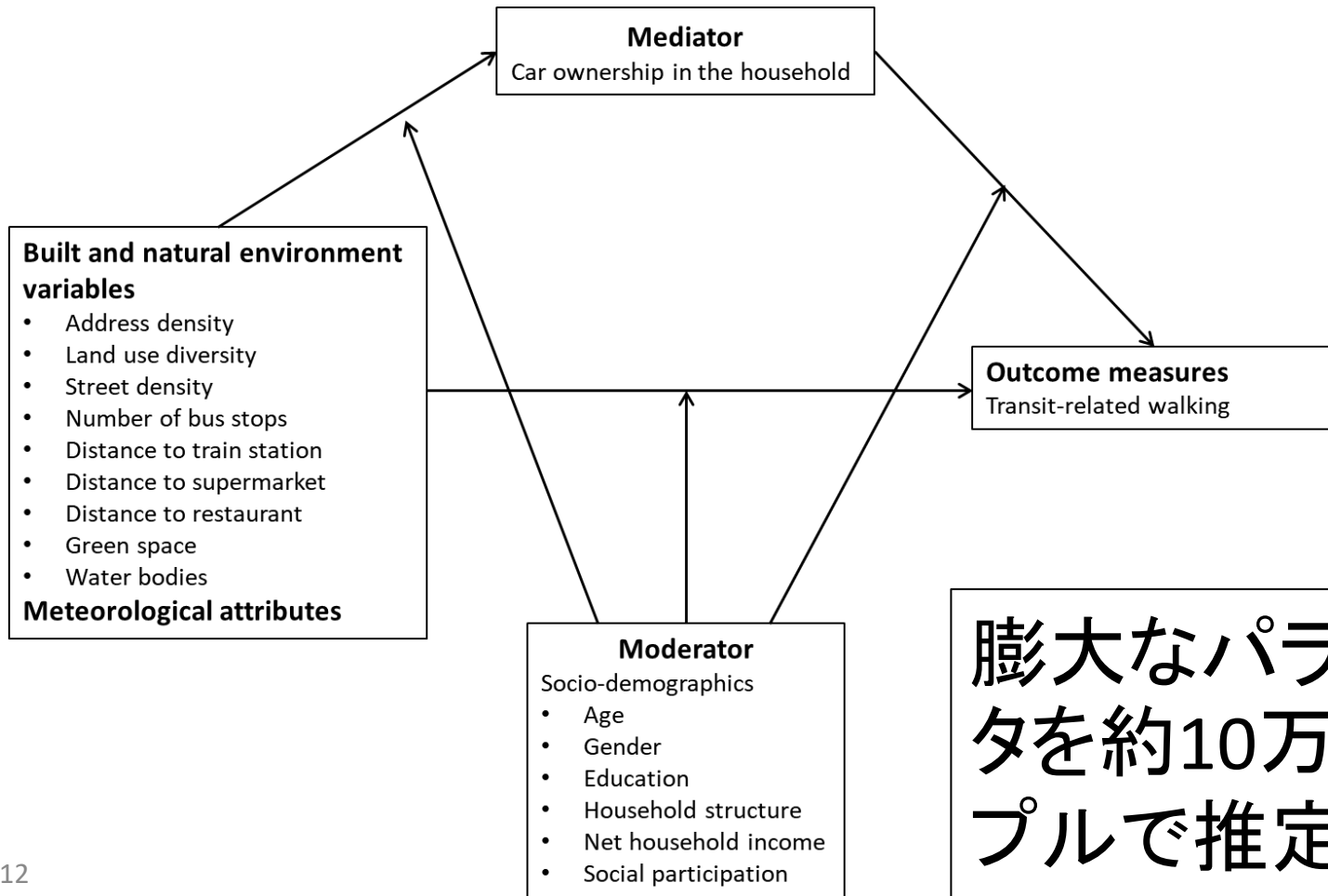
媒介された調整変数と調整された媒介変数 Mediated moderation vs moderated mediation



- X → Y に対する調整 (赤矢印) があれば mediated moderation, なければ moderated mediation と呼ぶ (Muller et al, 2005)

媒介された調整変数の分析例

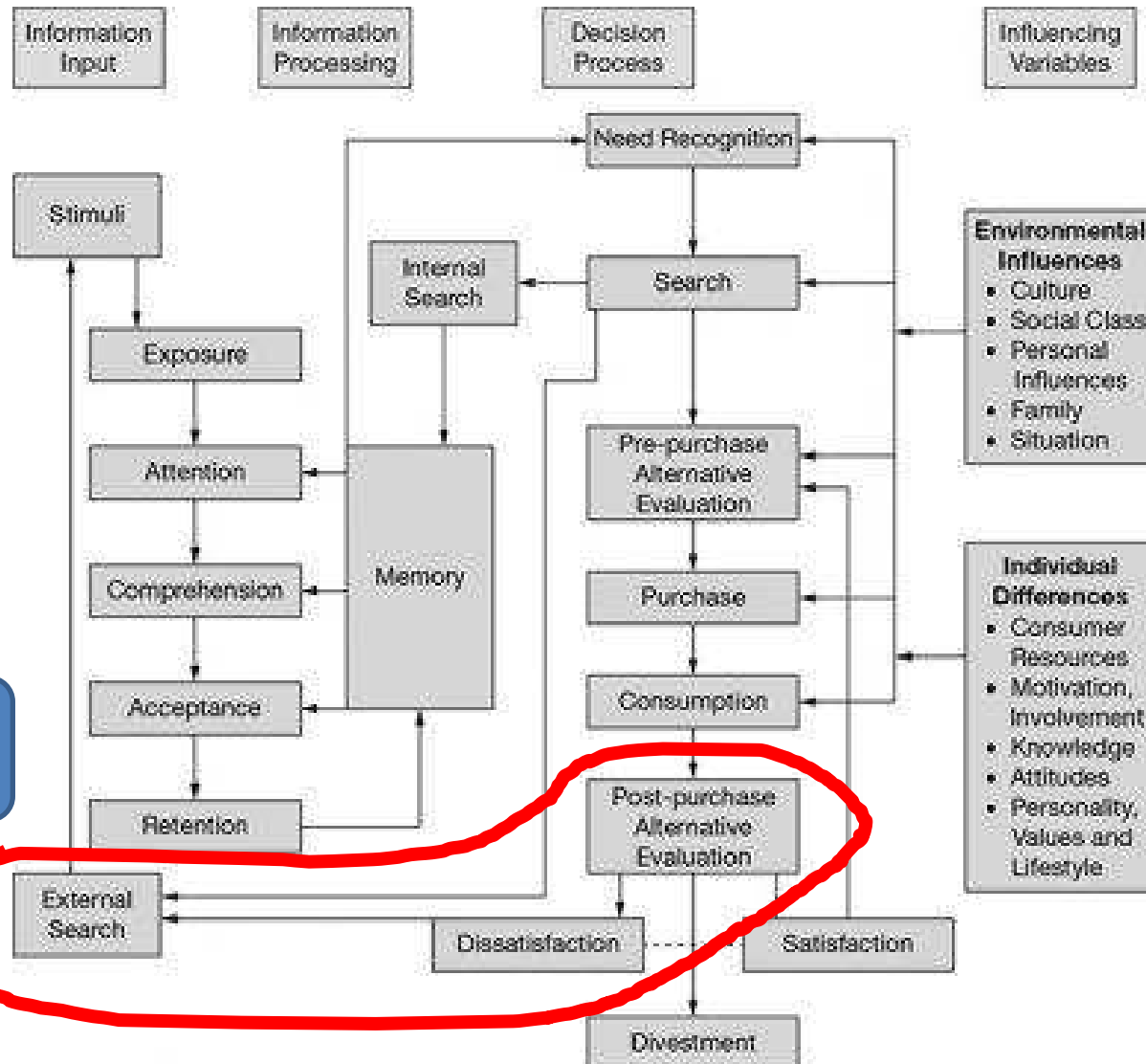
- 居住環境が徒歩アクセスに及ぼす影響の分析(Gao and Yamamoto, 2020)



選択プロセスの解明

- もともと離散選択モデルにおいて、効用は直接観測できないブラックボックス
- マーケティング分野や心理学分野で選択プロセスに関する仮説が提案されてきた
- 交通行動分析においても、それらの仮説の検証が進められている
- ICLVモデルは推定精度を高める上で有効

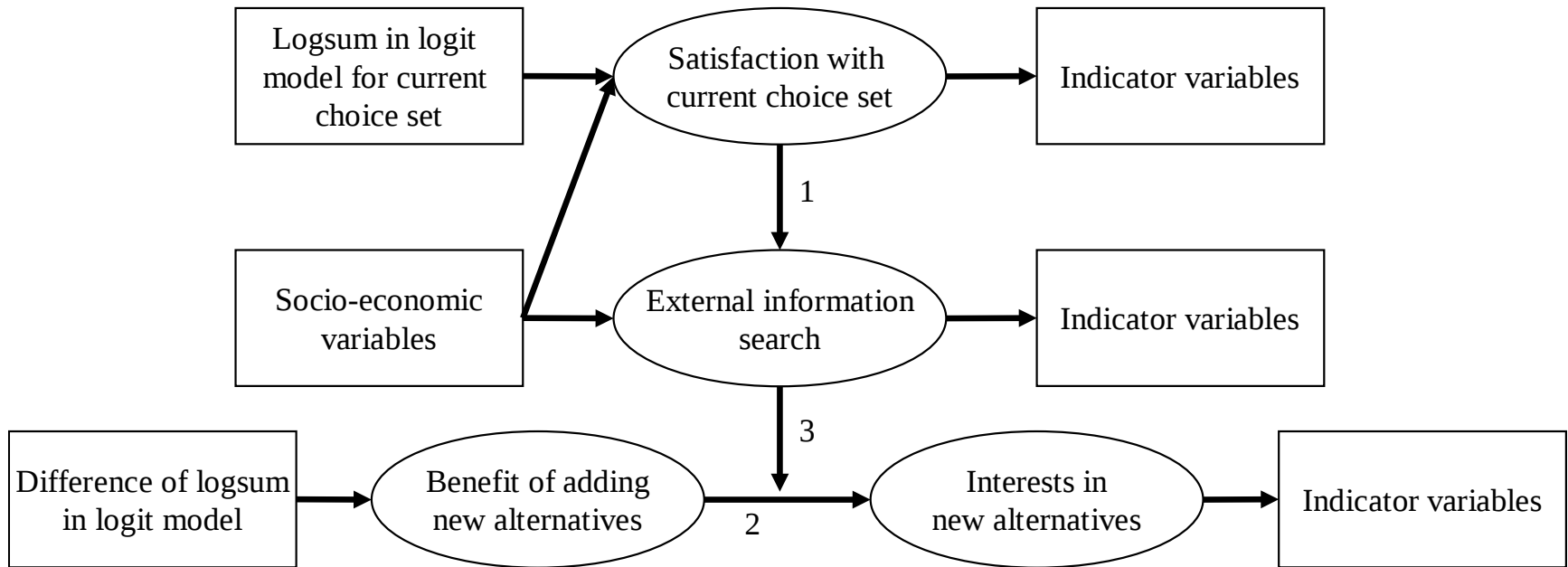
マーケティング分野における仮説例： EBMモデル(Engel et al, 1995)



次頁の例は
このあたり

EBMモデル適用例

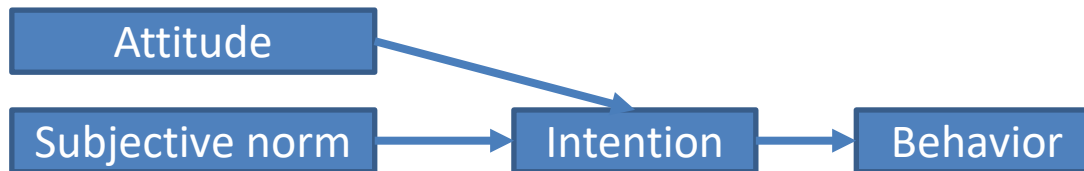
- 選択結果の不満足が新しい選択肢の探索に及ぼす影響の分析例 (Yamamoto et al, 2014)



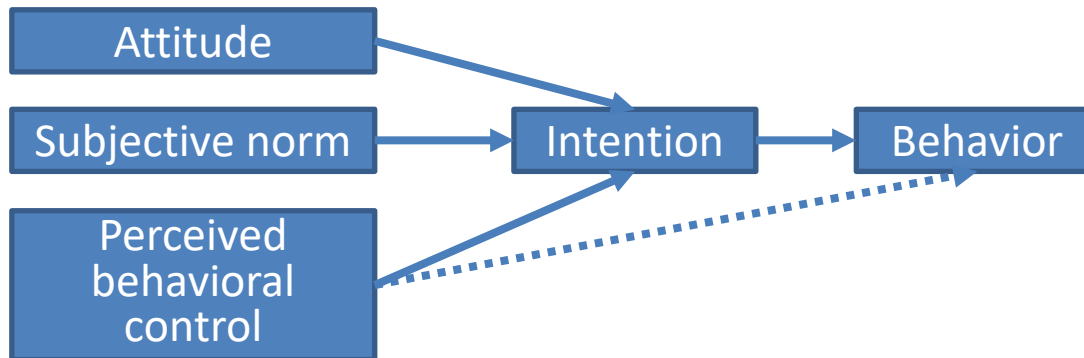
1. The individual who has a lower satisfaction level with the current choice set would have a higher possibility of performing external information search;
2. the individual who has a higher expected benefit would have a higher possibility to interest to the new alternatives;
3. only in the group with active information search, hypothesis-2 would be true.

心理学分野における仮説例1

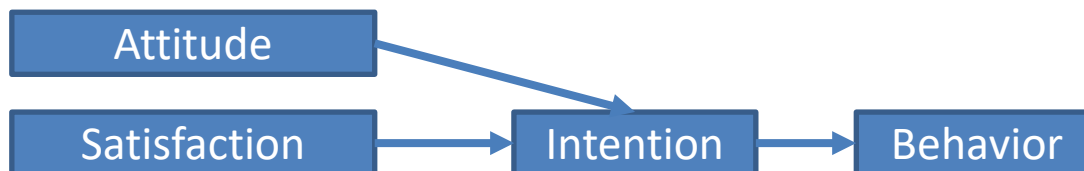
Theory of reasoned action (Fishbein and Ajzen, 1975)



Theory of planned behavior (Ajzen, 1991)

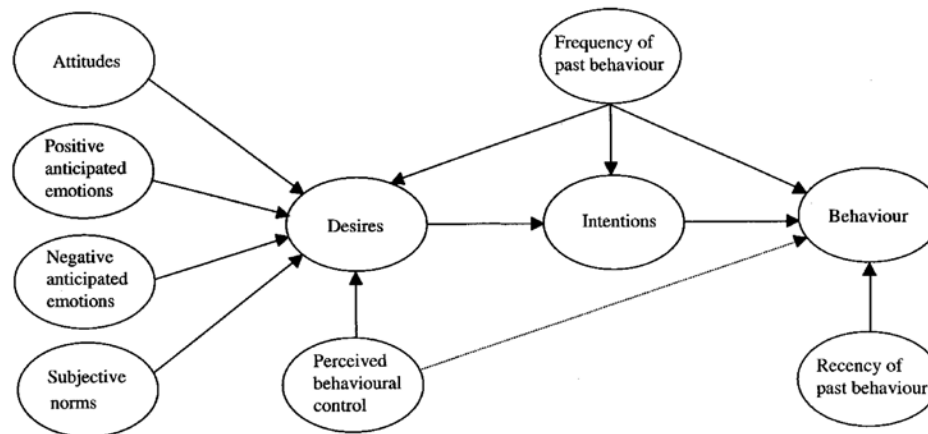


Theory of interpersonal behavior (Olsson et al, 2013)

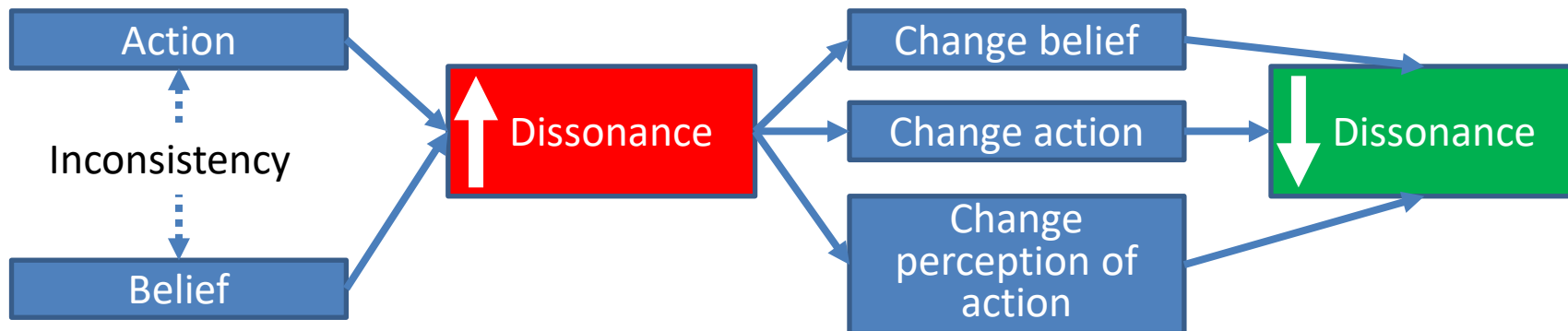


心理学分野における仮説例2

Model of goal-directed behavior (Perugini and Bagozzi, 2001)

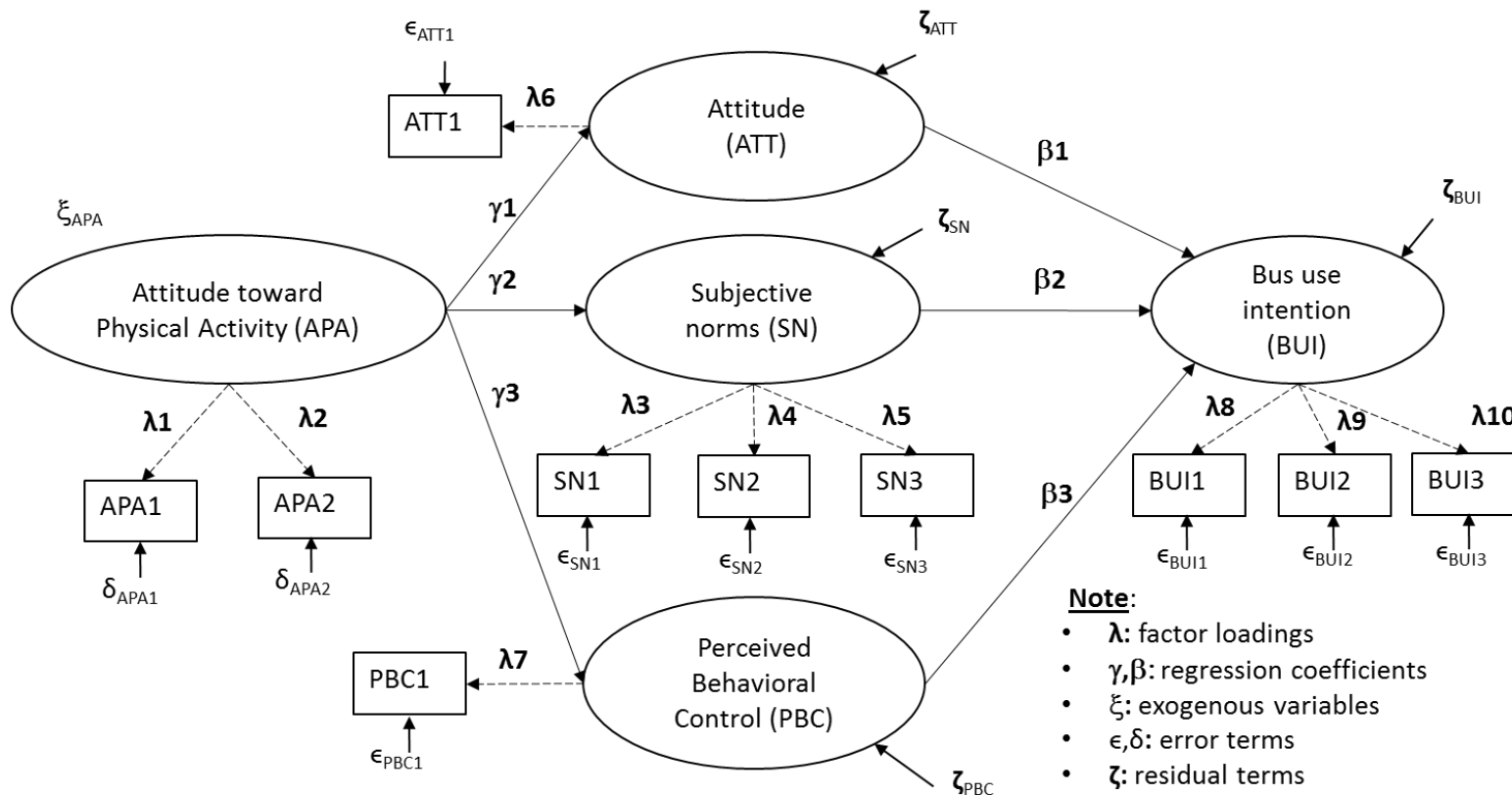


Theory of cognitive dissonance (Festinger, 1957)



Theory of planned behaviorの適用例

- 運動に対する態度がバスの利用意向に及ぼす影響の分析 (Tran et al, 2020b)



The extended TPB model

Note:

- λ : factor loadings
- γ, β : regression coefficients
- ξ : exogenous variables
- ϵ, δ : error terms
- ζ : residual terms

潜在変数に関する注意

- 潜在変数は文字通り直接観測できない
- 潜在変数をよく表す観測変数の設定が重要
 - 論文をよく読むと、この観測変数でその潜在変数を観測できてるの？と疑問に思うケースもある



- 複数の観測変数で1つの潜在変数を観測する場合、クロンバックの α 値を計算して観測変数が同一の潜在変数を観測しているか確認
- 2つ以上の潜在変数がある場合、主成分分析や因子分析で潜在変数と観測変数の関係を確認
- 既存研究で確立されている観測変数を使う

確立された観測変数（尺度）の例

- 環境意識 (Revised New Ecological Paradigm Scale) : Dunlap et al (2000)
- 運転者特性 (Driving Behavior Questionnaire) : Reason et al (1990)
- 移動満足度 (Satisfaction with travel scale) : Ettema et al (2011)

尺度の開発に興味がある以外は既存の尺度を使った方が他に力を注げる

まとめ

- ICLVモデルは選択行動に関する因果関係等の構造関係の同定に有用
- 媒介変数・調整変数など選択にどのように影響を与えるかを概念的妥当性と統計的有意性で検証
- 潜在変数の同定には優れた観測変数が重要

参考文献

- 王嘉宇, 山本俊行(2015) 浸水想定地域情報が転居意向に及ぼす影響の分析, 第52回土木計画学研究発表会.
- 佐々木邦明(1998) 潜在的評価構造の差異を考慮した離散型選択モデル, 京都大学博士論文
- 原祐輔(2017) GPS軌跡解析器の開発と長期観測データを用いた新たな個人属性の提案, 第55回土木計画学研究発表会.
- 森川高行, 佐々木邦明(1993) 主観的要因を考慮した非集計離散型選択モデル, 土木学会論文集No. 470/IV-20, pp. 115-124.
- 村山航(2009) 媒介分析・マルチレベル媒介分析.
<http://koumurayama.com/koujapanese/mediation.pdf>
- Ajzen, I. (1991) The theory of planned behavior. *Organizational Behavior and Human Decision Processes* 50, 179–211.
- Baron, R.M. and Kenny, D.A. (1986) The moderator-mediator variable distinction in social psychological research: conceptual, strategic, and statistical considerations. *Journal of Personality and Social Psychology* 51, 1173-1182.
- Ben-Akiva, M. , Walker, J.L. , Bernardino, A.T. , Gopinath, D.A. , Morikawa, T. and Polydoropoulou, A. (2002) Integration of choice and latent variable models. In: Mahmassani, H.S. (Ed.), *In Perpetual Motion: Travel Behavior Research Opportunities and Application Challenges*. Elsevier, Amsterdam, pp. 431–470.
- Chorus, C.G. and Kroesen, M. (2014) On the (im-)possibility of deriving transport policy implications from hybrid choice models. *Transport Policy* 36, 217-222.
- Dunlap, R.E., Van Liere, K.D., Mertig, A.G. and Jones, R.E. (2000) Measuring endorsement of the new ecological paradigm: a revised NEP scale. *Journal of Social Issues* 56, 425–442.
- Engel, J.F., Blackwell, R.D. and Miniard, P.W. (1995) *Consumer Behavior*, 8th ed. Dryden Press, Fort Worth, TX.
- Ettema, D., Gärling, T., Eriksson, L., Friman, Olsson, L.E. and Fujii, S. (2011) Satisfaction with travel and subjective well-being: Development and test of a measurement tool. *Transportation Research Part F* 14, 167-175.

- Festinger, L. (1957) Theory of Cognitive Dissonance. Stanford University Press, Stanford.
- Fishbein, M. and Ajzen, I. (1975) Belief, attitude, intention, and behavior: an introduction to theory and research. Addison-Wesley.
- Gao, J. and Yamamoto, T. (2020) Transit-related walking and the built and natural environment: Cross-sectional mediation and mediated moderation analyses. Under review
- MacKinnon, D.P., Lockwood, C.M., Hoffman, J.M., West, S.G. and Sheets, V. (2002) A comparison of methods to test mediation and other intervening variable effects. *Psychological Methods* 7, 83-104.
- Muller, D., Judd, C. M. and Yzerbyt, V. Y. (2005) When moderation is mediated and mediation is moderated. *Journal of Personality and Social Psychology* 89, 852-863.
- Olsson, L.E., Gärling, T., Ettema, D., Friman, M. and Fujii, S. (2013) Happiness and satisfaction with work commute. *Social Indicators Research* 111(1), 255-263.
- Perugini, M. and Bagozzi, R.P. (2001) The role of desires and anticipated emotions in goal directed behaviours: broadening and deepening the theory of planned behaviour. *British Journal of Social Psychology* 40 (1), 79-98.
- Reason, J., Manstead, A., Strading, S., Baxter, J. and Campbell, K. (1990) Errors and violations on the roads: a real distinction? *Ergonomics* 33, 1315-1332.
- Tran, Y., Yamamoto, T. and Sato, H. (2020a) The influences of environmentalism and attitude towards physical activity on mode choice: The new evidences, *Transportation Research Part A* 134, 211-226.
- Tran, Y., Yamamoto, T., Sato, H., Miwa, T. and Morikawa, T. (2020b) Attitude towards physical activity as a determinant of bus use intention: a case study in Asuke, Japan, *IATSS Research* (in press)
- Vij, A. and Walker, J.L. (2016) How, when and why integrated choice and latent variable models are latently useful. *Transportation Research Part B* 90, 192-217.
- Walker, J. and Ben-Akiva, M. (2002) Generalized random utility model. *Mathematical Social Sciences* 43, 303-343.
- Yamamoto, T., Li, C. and Morikawa, T. (2014) An empirical analysis of the factors raising the interest in new shopping destinations. *Journal of Retailing and Consumer Services* 21, 950-957.