

2014 BinN 理論談話会「都市と移動」 #2

Dynamic latent plan models

Choudhury, C.F., Ben-Akiva, M., Abou-Zeid, M.
Journal of Choice Modelling, 3, 50-70. (2010)

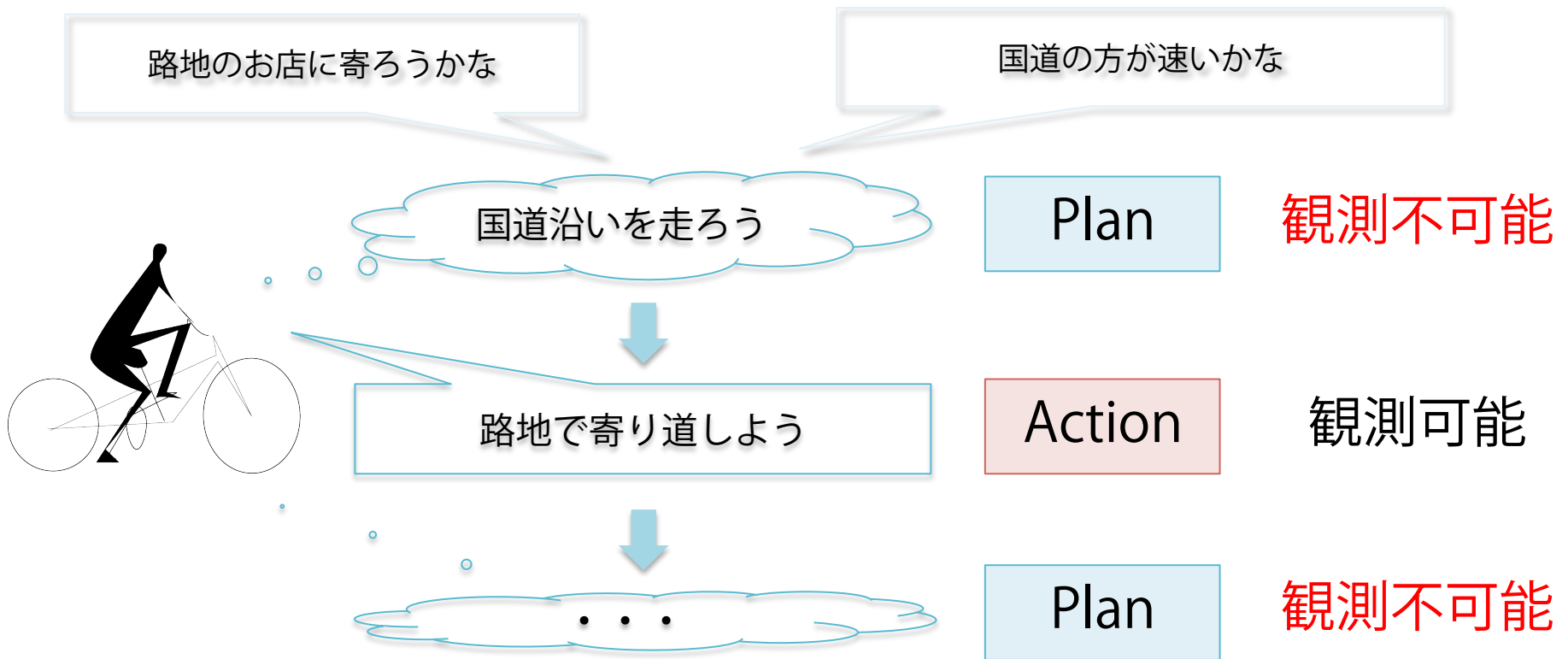
2014.04.18(Fri) M1 芝原 貴史

発表の流れ

- Plan-Actionモデルとは
- 1次隠れマルコフモデル
- モデルの構成
- 合流時の運転者挙動モデルへの適用

Plan-Actionモデルとは

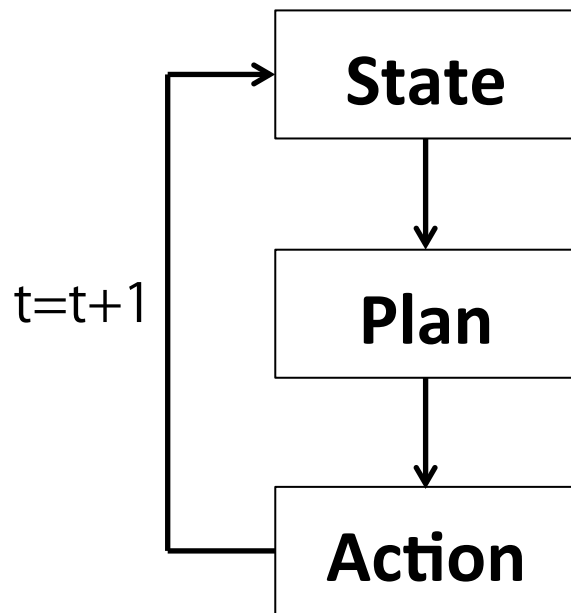
自転車での移動で. . .



→ 観測不可能なPlanの存在も考慮したモデルの作成

Plan-Actionモデルとは

- Plan-Actionモデルの枠組み



①現在の状態に基づきPlan決定

②Actionの効用はPlanに依存して変化

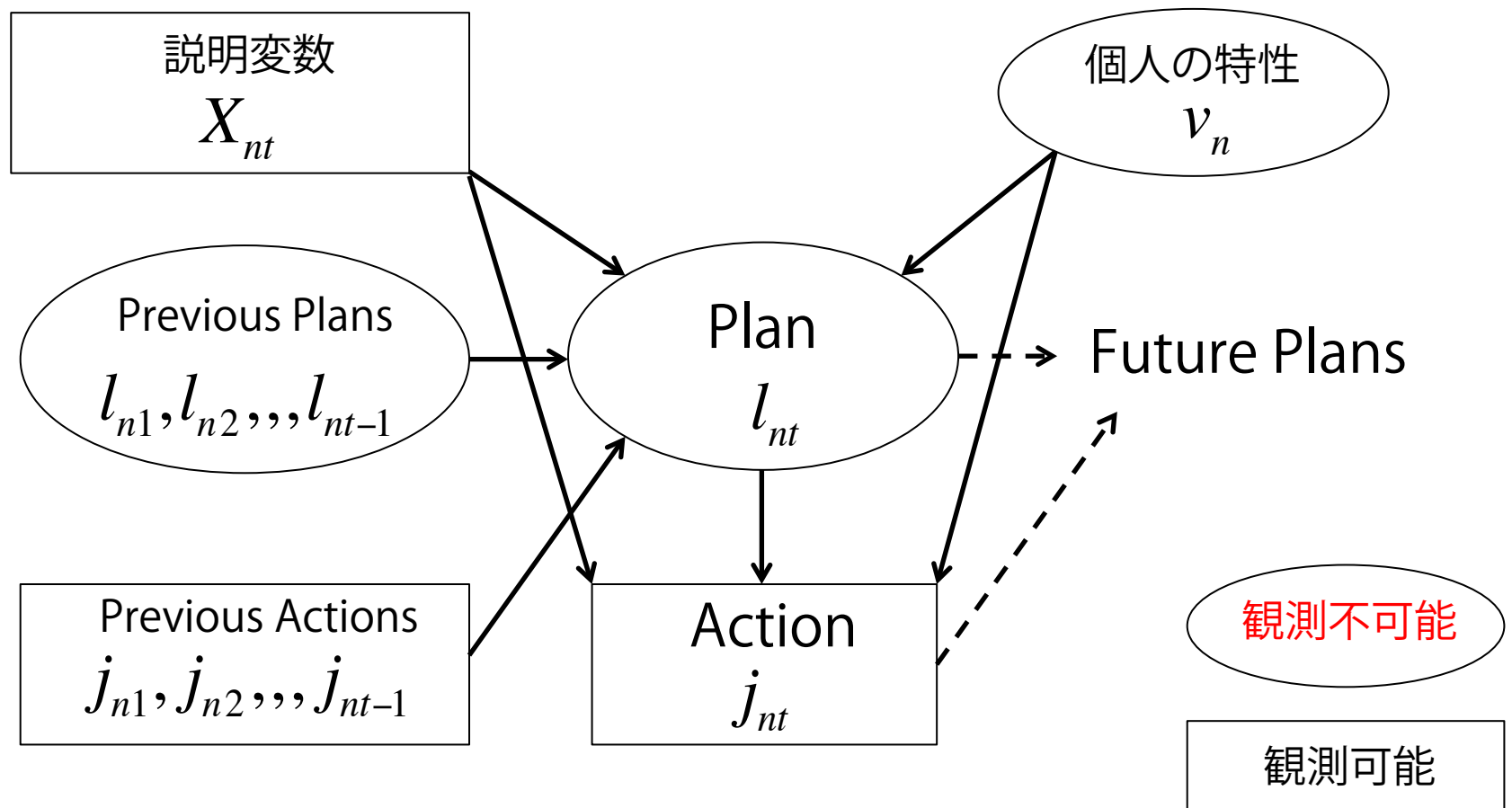
③PlanとActionの選択はどちらも効用最大化理論に基づく

④Actionが最新の状態に反映される

⑤Planは以前のPlanやActionに依存する

Plan-Actionモデルとは

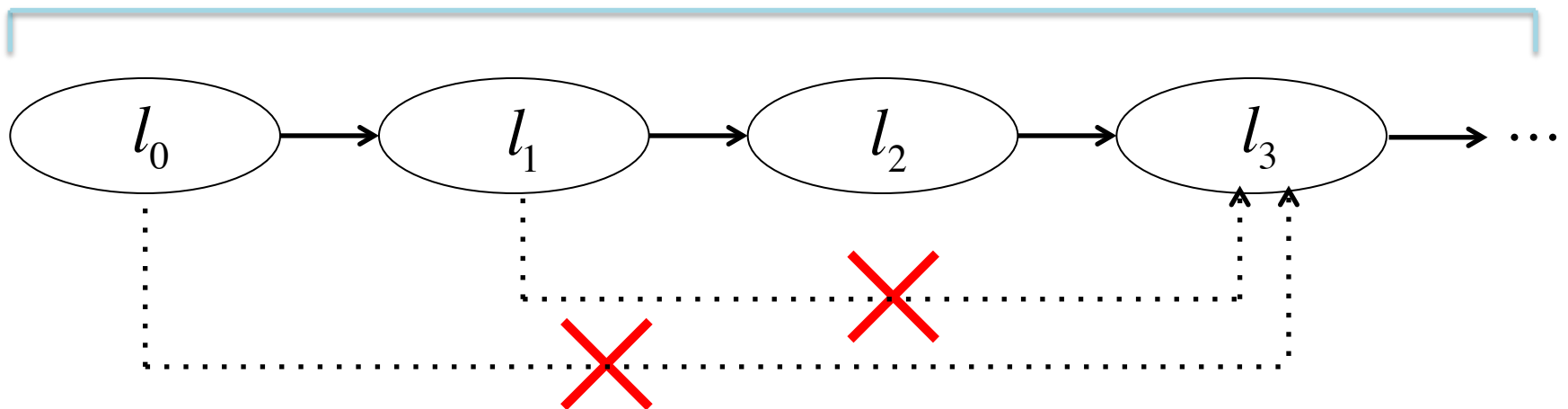
- 個人 n の時刻 t におけるPlan-Actionモデルのフレームワーク



1次隠れマルコフモデル

- マルコフ過程
 - 状態遷移が1つ前の状態によってのみ決まること
 - 遷移確率が観測可能

観測可能



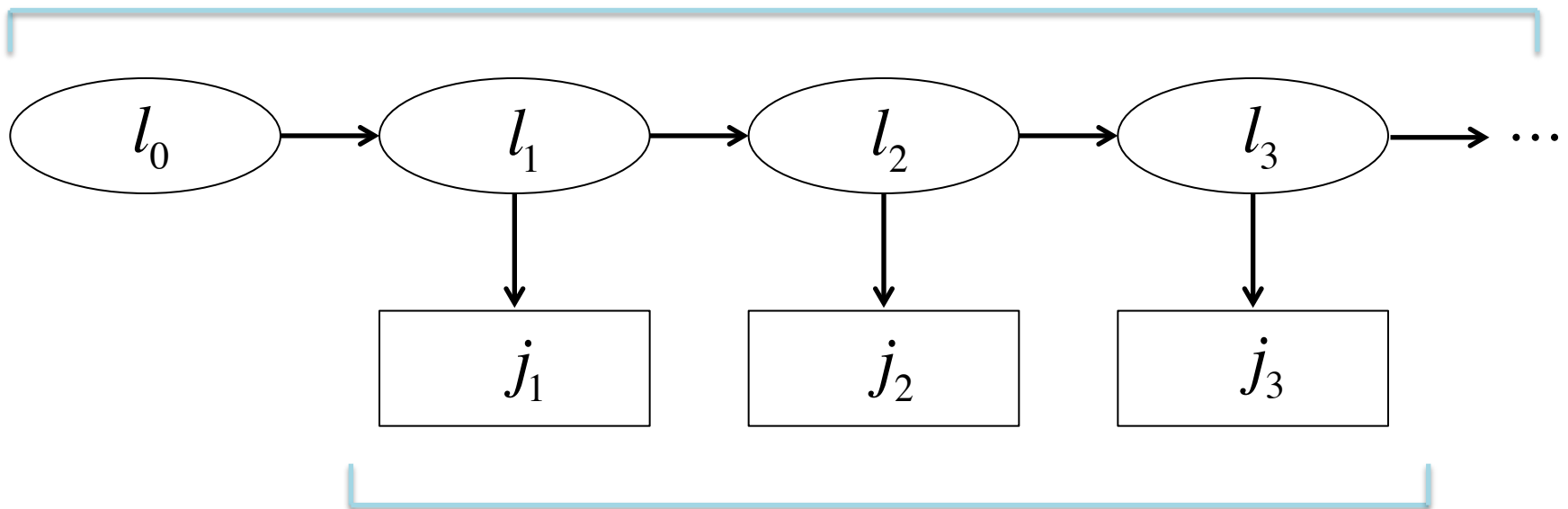
1つ前の状態以外は影響しない

1次隠れマルコフモデル

- 1次隠れマルコフモデル(Baum and Petrie 1966)
 - 観測可能なアウトプットから観測不可能なマルコフ過程の遷移確率を推定する

l : Plan j : Action

観測不可能



観測可能

モデルの構成

※表記 $P(a | b)$ b の元での a が起こる確率 (条件付き確率)
 $1:t$ $1, 2, \dots, t-1, t$ の略記

一般的に書くと・・・

$P_n(l_t | l_{1:t-1}, j_{1:t-1}, v_n)$ 個人 n が時刻 t に Plan l を選択する確率

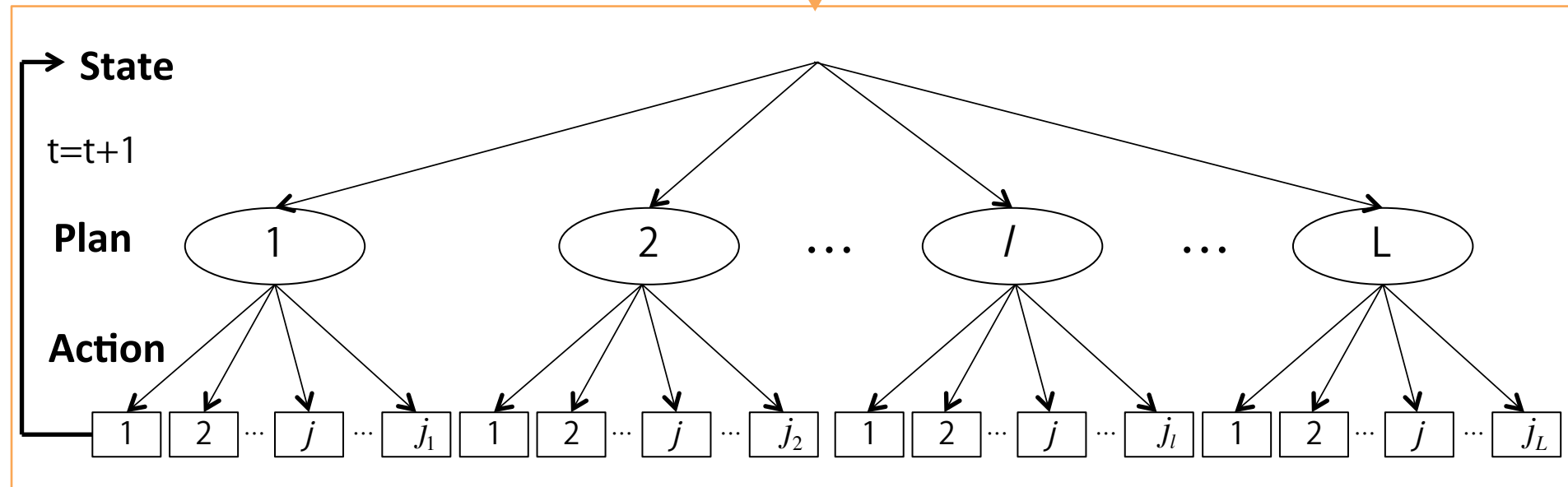
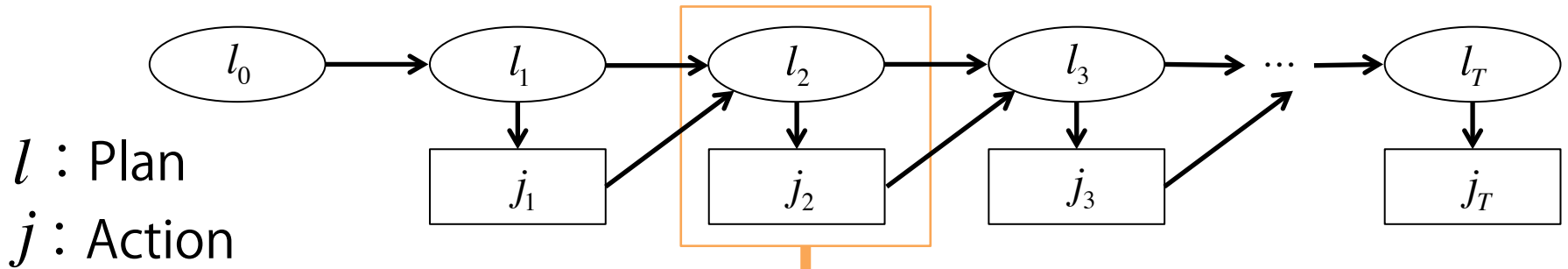
$P_n(j_t | l_{1:t}, j_{1:t-1}, v_n)$ 個人 n が時刻 t に Action j を選択する確率

個人 n が時刻 t に Action j を観測される確率は, Plan l が選択された元での Action j を選択する確率の合計なので,

$$P_n(j_t | j_{1:t-1}, v_n) = \sum_{(l_1, \dots, l_t)} P_n(j_t | l_{1:t}, j_{1:t-1}, v_n) P_n(l_t | l_{1:t-1}, j_{1:t-1}, v_n) \quad (1)$$

モデルの構成

式の簡略化のため、1次隠れマルコフモデルを適用する。



モデルの構成

式の簡略化のため，1次隠れマルコフモデルを適用する。

Planの選択：直前のPlanと以前の全てのActionに依存

$$P_n(l_t | l_{1:t-1}, j_{1:t-1}, v_n) = P_n(l_t | l_{t-1}, j_{1:t-1}, v_n) \quad (2)$$

Actionの選択：現在のPlanにのみ依存

$$P_n(j_t | l_{1:t}, j_{1:t-1}, v_n) = P_n(j_t | l_t, v_n) \quad (3)$$

個人 n が時刻 $1 \sim t$ でAction j を行う

$$P_n(j_t | j_{1:t-1}, v_n) = \sum_{(l_1, \dots, l_t)} P_n(j_t | l_t, v_n) P_n(l_t | l_{t-1}, j_{1:t-1}, v_n) \quad (4)$$

モデルの構成

- Planの選択：直前のPlanと以前全てのActionに依存

$$U_{lnt} = U(X_{lnt}, l_{nt-1}, j_{n1:t-1}, \underline{I_{lnt}}, v_n, \varepsilon_{lnt}) \quad \text{Plan } l \text{ の効用}$$

$$\underline{I_{lnt}} = E(\max(U_{1lnt}, U_{2lnt}, \dots, U_{jlnt}, \dots, U_{J_l lnt})) \quad \text{Plan } l \text{ の元でのActionの期待最大効用}$$

X_{lnt} : 個人 n の時刻 t におけるPlan l の属性

U_{jlnt} : 個人 n の時刻 t におけるPlan l の元でのAction j の効用

v_n : 個人ごとの個性による誤差項

ε : 効用の誤差項

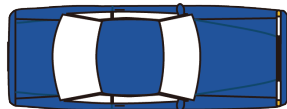
- Actionの選択：現在のPlanにのみ依存

$$U_{jlnt} = U(X_{jlnt}, I_{lnt}, v_n, \varepsilon_{lnt})$$

X_{jlnt} : 個人 n の時刻 t におけるPlan l の元でのAction j の属性

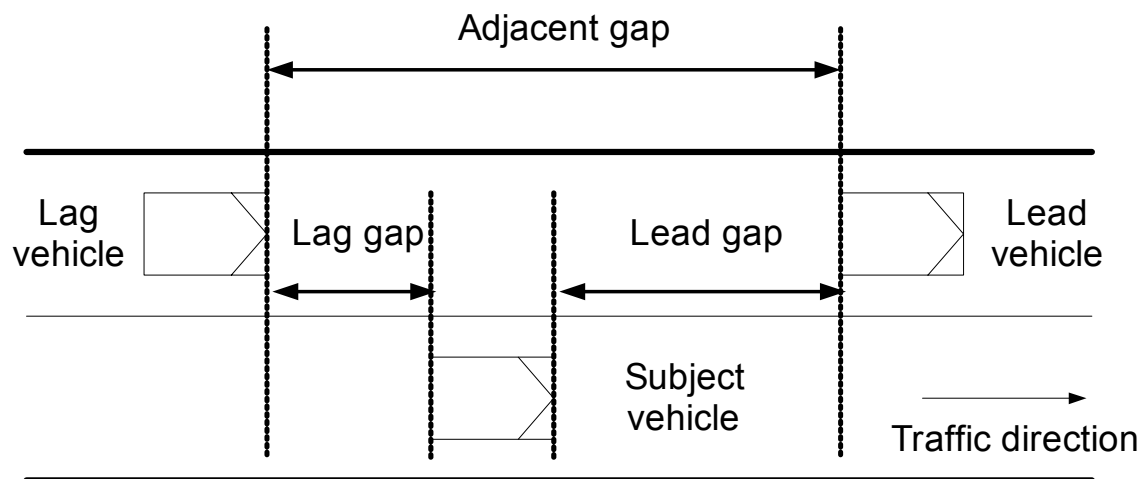
合流時の挙動モデルへの適用

- 合流時の運転者挙動モデルに適用する。



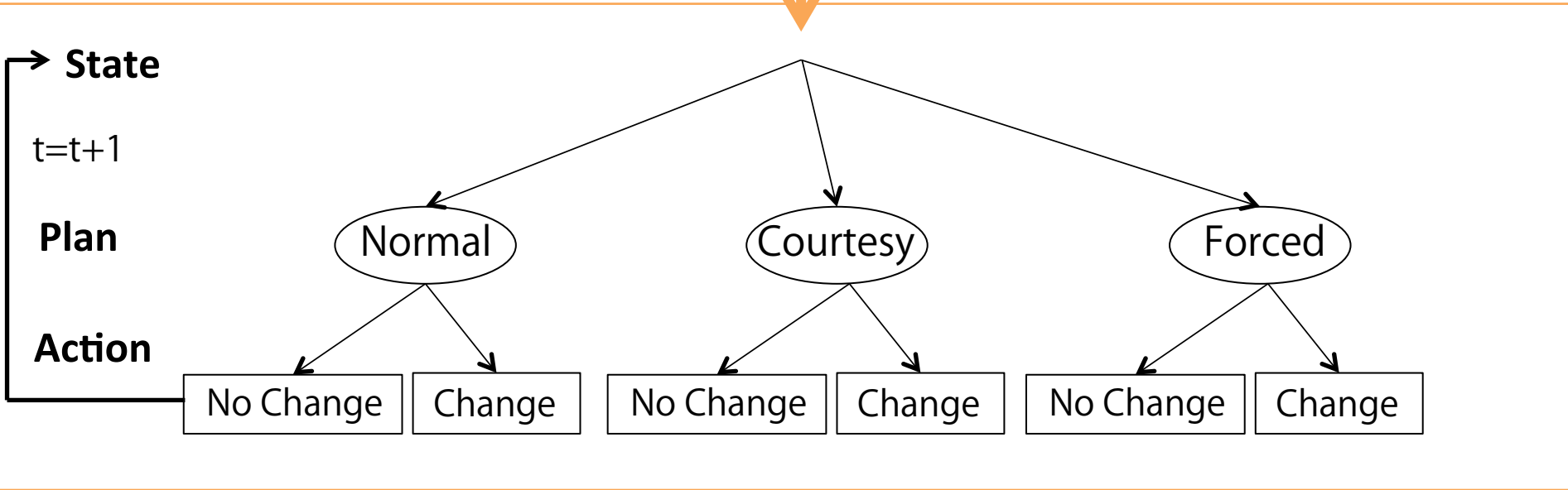
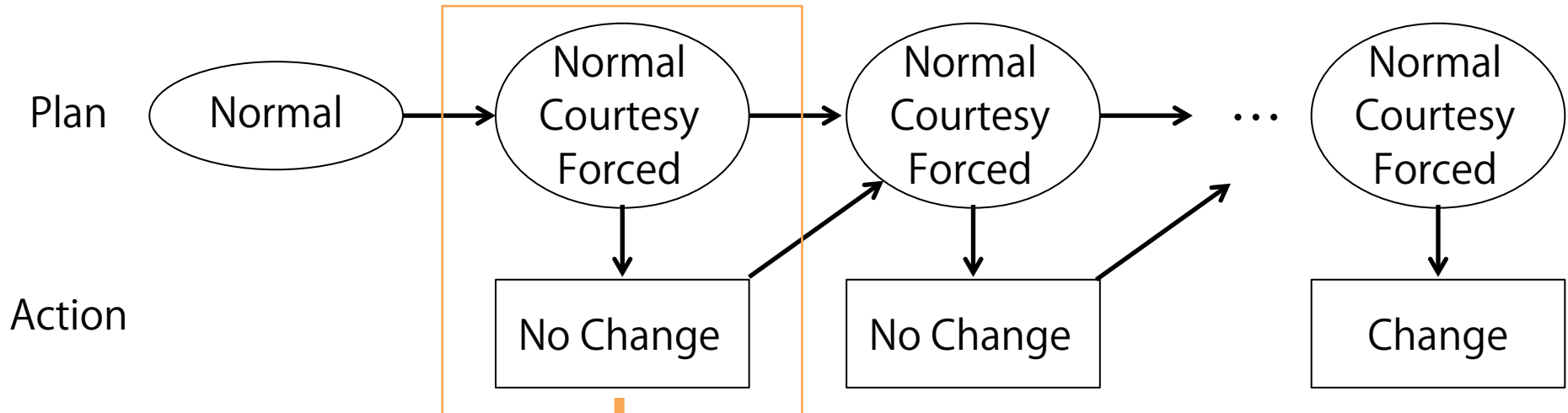
相手が譲ってくれる
→入らせてもらおう

相手がなかなか譲らない
→強行しようか

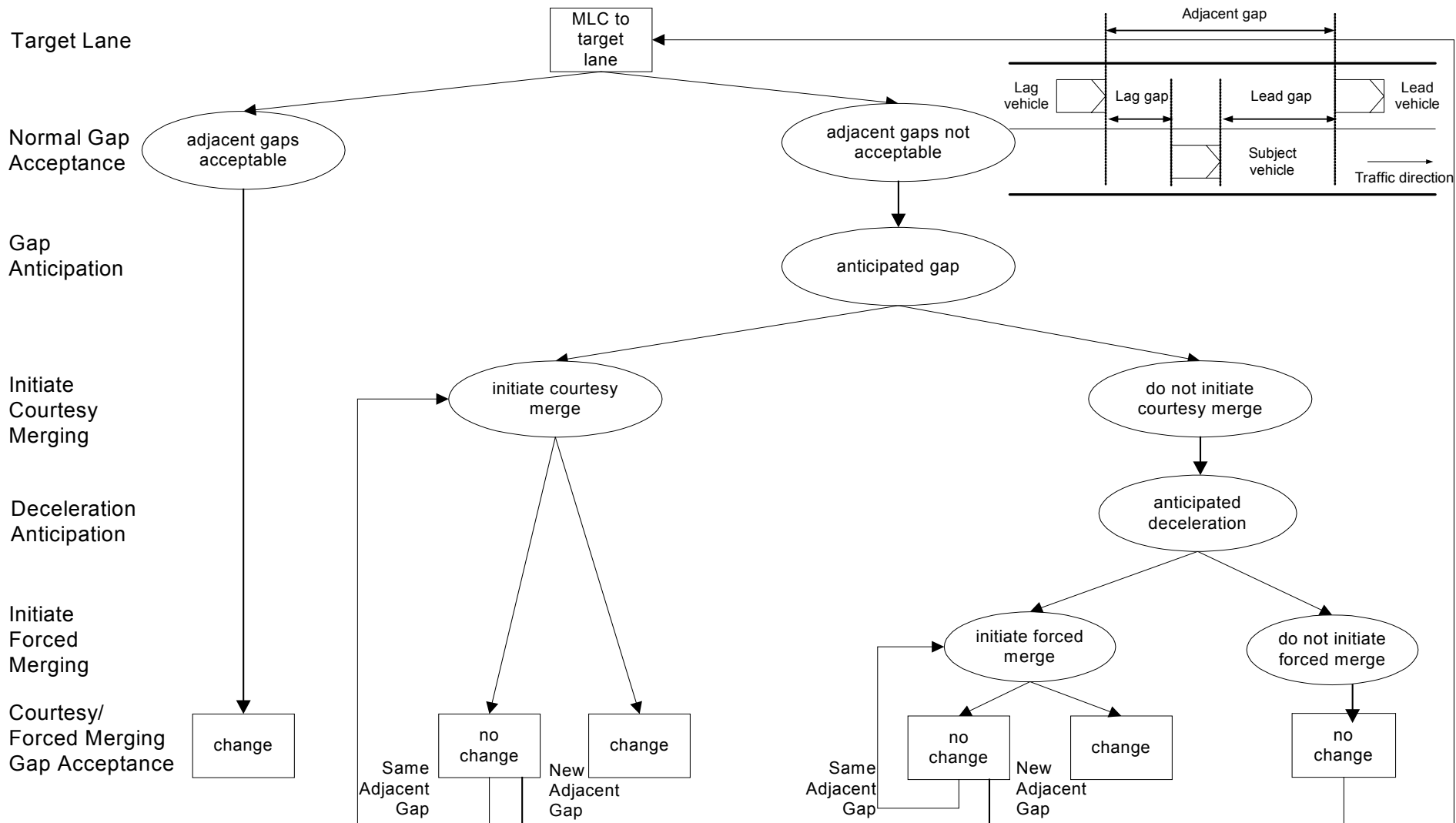


Choudhury et al.(2007)

合流時の挙動モデルへの適用



合流時の挙動モデルへの適用



Choudhury et al.(2007)

譲る挙動のモデリング

- τ_n 秒後のドライバーの予測車間距離を予測する。

$$\overline{G_{nt}}(\tau_n) = \underbrace{G_{nt}^{lead}}_{\text{車間距離}} + \underbrace{G_{nt}^{lag}}_{\text{自分の車体長}} + \underbrace{Y_n}_{\text{速度}} + \tau_n (\underbrace{V_{nt}^{lead}}_{\text{速度}} - \underbrace{V_{nt}^{lag}}_{\text{速度}}) + \frac{1}{2} \tau_n^2 (\underbrace{a_{nt}^{lead}}_{\text{加速度}} - \underbrace{a_n^{lag}}_{\text{加速度}})$$

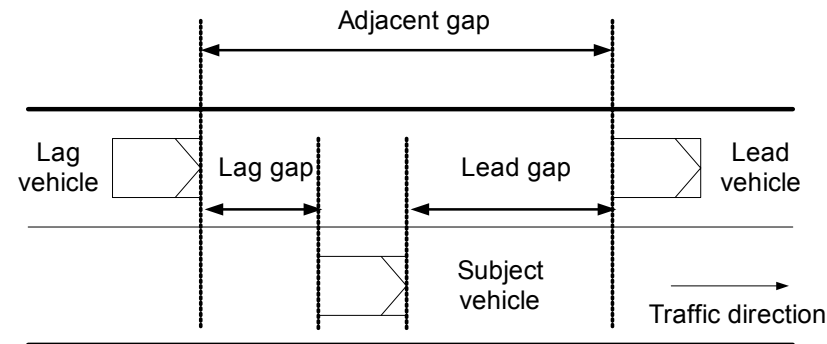
予測車間距離

- 許容可能な車間距離を求める。

$$\ln(G_{nt}^A) = G(\underbrace{X_{nt}}_{\text{説明変数}}, \underbrace{v_n}_{\text{個人特有の誤差項}}, \underbrace{\beta^A}_{\text{パラメータ}}) + \underbrace{\varepsilon_{nt}^A}_{\text{誤差項}}$$

v_n : 個人の実験による誤差項 $\sim N(0, 1)$

ε_{nt}^A : 誤差項 $\sim N(0, \sigma_A^2)$



Choudhury et al.(2007)

譲る挙動のモデリング

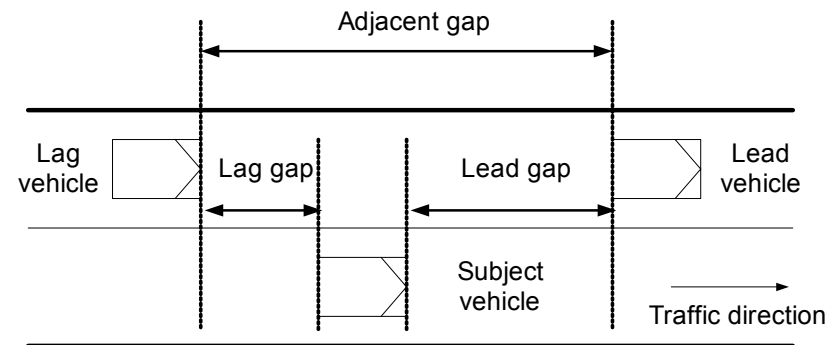
- 予測車間距離 $\overline{G}_{nt}(\tau_n)$ と許容可能車間距離 G_{nt}^A と比較し、小さい場合に譲る挙動を始める。その確率は、

$$\begin{aligned} & P_n(l_t = C \mid l_t = M, v_n) \\ &= P_n(\overline{G}_{nt}(\tau_n) > G_{nt}^A \mid l_t = M, v_n) \\ &= \phi \left[\frac{\ln(\overline{G}_{nt}(\tau_n)) - (G_{nt}^A)}{\sigma_A} \right] \end{aligned}$$

l_t : 時刻 t でのPlan

C : Courtesy Plan

M : Normal Plan



Choudhury et al.(2007)

譲る挙動のモデリング

- 最尤推定法で推定すると許容可能車間距離 G_{nt}^A は以下のようにパラメータが得られた。

$$G_{nt}^A = \exp(1.82 + 1.82 \text{Max}(0, \Delta V_{nt}^{\text{lag}}) - 0.153 \rho_{nt}) + \frac{0.244}{1 + \exp(0.449 + 0.360 v_n)} d_{nt} - 0.231 v_n + \varepsilon_{nt}^A$$

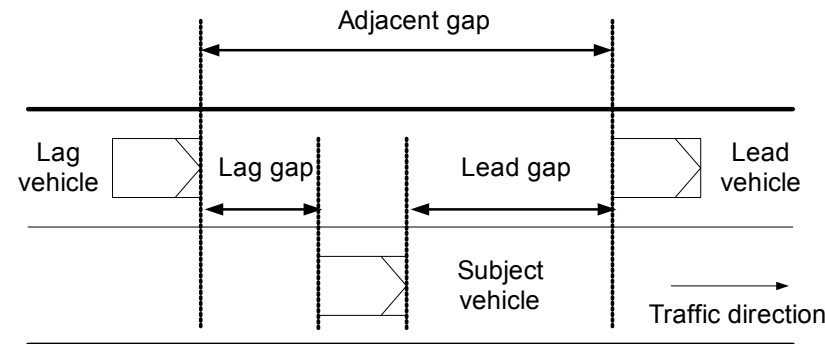
$\Delta V_{nt}^{\text{lag}}$: 自分と遅い方の車両との相対速度 (m) (0以下の時は=0)

d_{nt} : 合流部への距離 (10m)

ρ_{nt} : 右端の車線の車両密度 (veh/10m)

v_n : 観測できないドライバーの個性

ε_{nt}^A : 誤差項 (標準偏差0.0106の正規分布に従う)



Choudhury et al.(2007)

強行的な行動のモデリング

- 相手の車両に譲る意志がないとき，車間距離を予測できない。
- 強行するかどうかの意思決定をする確率を二項ロジットモデルで記述する。

$$P_n(l_t = F | l_t = M, v_n) = \frac{1}{1 + \exp(-\beta^F X_{nt} - \alpha^F v_n)}$$

パラメータ

l_t : 時刻 t でのPlan

F : Forced Plan

M : Normal Plan

- 最尤推定法でパラメータ推定すると，

$$P_n(l_t = F | l_t = M, v_n) = \frac{1}{1 + \exp(6.41 + 1.25 \delta_{nt}^{hv} - 5.43 v_n)}$$

車体重量 (0or1)

モデリングの評価

- Planの存在を考慮しないモデル (Lee2006, Choudhury et al. 2007) と比較すると, データとのより良い適合が見られた.

Table 1. Comparison of Model Estimation Results

Statistic	Single Level (R)	Combined Merging (U)
Likelihood value	-1639.69	-1609.65
Number of parameters (K)	17	42
Akaike information criteria (AIC)	-1656.69	-1651.65
Adjusted rho-bar square ($\bar{\rho}^2$)	0.87	0.88

まとめ

- 観測不可能なPlanの存在を考慮した意思決定モデルを提案した.
- 式の簡略化のため, 1次隠れマルコフモデルを適用して定式化を行った.
- 合流時の挙動モデルに適用し, 以前のモデルよりも良い適合が得られた.