

第十回行動モデル夏の学校  
講義のガイダンス



羽藤英二（東京大学）

# 都市交通政策の時代的変遷

- 1960年代：高度経済成長
  - モータリゼーションの進展
- 1970年代：全国総合開発計画
  - 均衡ある国土発展
- 1980年代：経済拡大
  - 郊外化の進展，定住圏構想
- 1990年代：バブル崩壊/内需拡大
  - 多極分散，リゾート法
- 2000年代：セプテンバーイレブン/土木不要論
  - 中心市街地空洞化，地方衰退
  - 都市再生，地域連携，まちづくり



# 行動モデルの時代的変遷

- 1960年代：データ革命
  - PT調査データの登場
- 1970年代：離散選択モデル
  - MNL, NLの開発と実務への適用



# 2項選択モデル

- 人間てのは, 効用(U:Utility)の高い方を選ぶ
- 効用Uは確定項 $V_a$ と確率項 $\epsilon_a$ で表される. 効用関数:

$$U_a = V_a + \epsilon_a$$

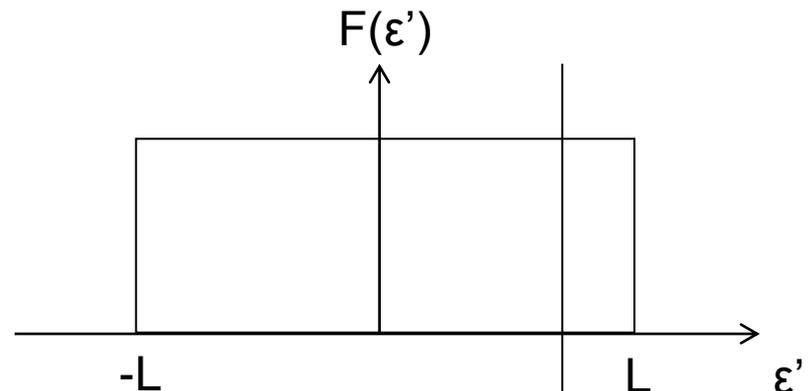
$$V_a = a \times \text{所要時間} + b \times \text{右左折数} \\ + c \times \text{歩道の有無}$$

- $a$ が選ばれる確率:

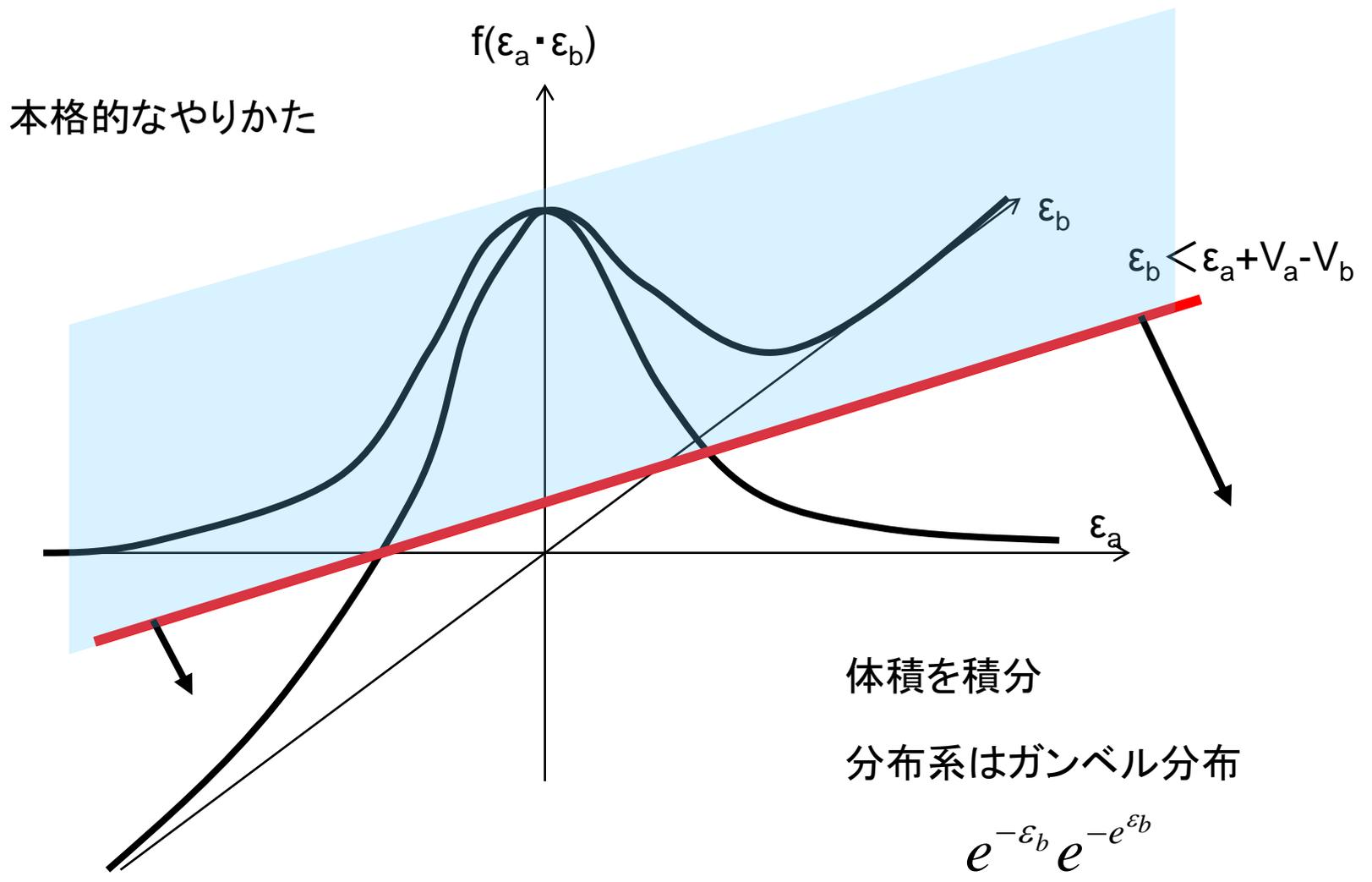
$$P_a(U_a > U_b)$$

# 問題

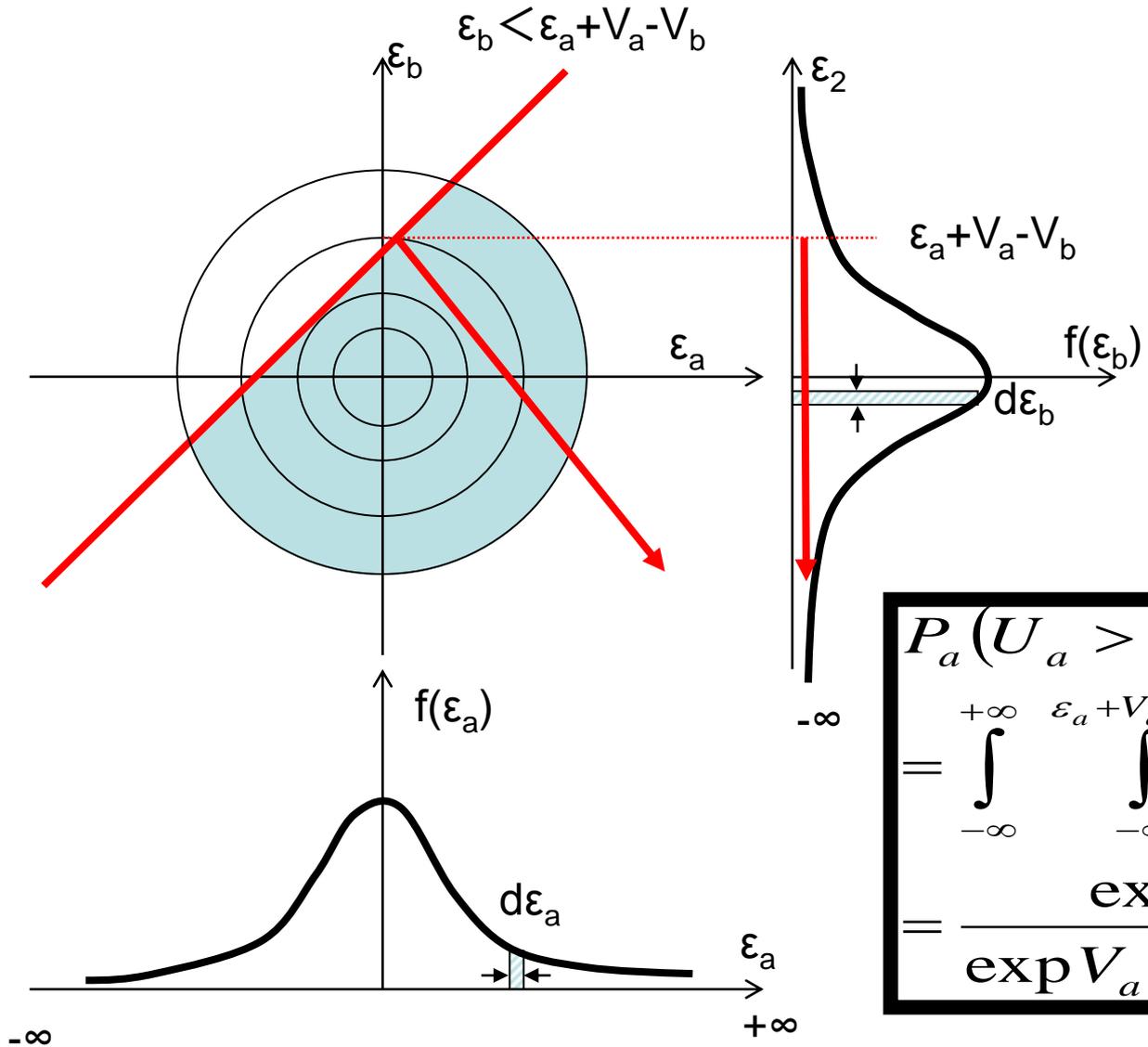
- $P_a(U_a > U_b)$ を求めるには,  $U_a > U_b$ となる確率を計算すればいい.
- $V_a - V_b > \varepsilon_b - \varepsilon_a \Rightarrow V_a - V_b > \varepsilon'$ である確率を計算してください.
- ただし $\varepsilon'$ は右のような一様分布とする



# そもそも $\varepsilon'$ なんて置いていいですか？



# $P_a(U_a > U_b)$



$$\begin{aligned}
 P_a(U_a > U_b) &= \int_{-\infty}^{+\infty} \int_{-\infty}^{\epsilon_a + V_a - V_b} f(\epsilon_a, \epsilon_b) d\epsilon_a d\epsilon_b \\
 &= \frac{\exp V_a}{\exp V_a + \exp V_b}
 \end{aligned}$$

# ロジットモデルの導出(1/2)

$$P_a(U_a > U_b)$$

$$= \int_{-\infty}^{+\infty} \int_{-\infty}^{\varepsilon_a + V_a - V_b} f(\varepsilon_a, \varepsilon_b) d\varepsilon_a d\varepsilon_b$$

$$= \int_{-\infty}^{+\infty} f(\varepsilon_a) \left[ \int_{-\infty}^{\varepsilon_a + V_a - V_b} f(\varepsilon_b) d\varepsilon_b \right] d\varepsilon_a$$

$$= \int_{-\infty}^{+\infty} f(\varepsilon_a) \left[ \int_{-\infty}^{\varepsilon_a + V_a - V_b} e^{-\varepsilon_b} e^{-e^{\varepsilon_b}} d\varepsilon_b \right] d\varepsilon_a$$

$$= \int_{-\infty}^{+\infty} f(\varepsilon_a) e^{-e^{-V_a + V_b + \varepsilon_a}} d\varepsilon_a$$

ガンベル分布を投入

$$= \int_{-\infty}^{+\infty} e^{-\varepsilon_a} e^{-e^{-\varepsilon_a(1+e^{-V_a+V_b})}} d\varepsilon_a$$

# ロジットモデルの導出(2/2)

$$= \int_{-\infty}^{+\infty} e^{-\varepsilon_a} e^{-e^{-\varepsilon_a}(1+e^{-V_a+V_b})} d\varepsilon_a$$

$$= \int_{-\infty}^{+\infty} e^{-\varepsilon_a} \exp\left[-e^{-\varepsilon_a} (1+e^{-V_a+V_b})\right] d\varepsilon_a$$

$t = 1 + e^{-V_a+V_b}$  とおいて整理する

$$= \int_{-\infty}^{+\infty} e^{-\varepsilon_a} \exp\left[-e^{-\varepsilon_a} t\right] d\varepsilon_a$$

$X = e^{-\varepsilon_a}$  とさらにおいて,

$$= \int_{+\infty}^0 -e^{-tx} dX = \int_0^{+\infty} e^{-tx} dX = -\frac{1}{t} \left[ e^{-tx} \right]_0^{\infty} = \frac{1}{t}$$

$$= \frac{1}{1 + e^{-V_a+V_b}} = \frac{\exp V_a}{\exp V_a + \exp V_b}$$

# 行動モデルとは？(1)

- 手計算で導ける
- 美しいClosed Formの  
選択確率式

$$P_1 = \frac{e^{\theta V_1}}{e^{\theta V_1} + e^{\theta V_2}}$$

The probability of choosing route  $k$

$$P(k) = \frac{\exp[V_k + \ln \sum_m \alpha_{mk} \left[ \sum_l \alpha_{ml} \exp(V_l) \right]^{\alpha_{mk}}]}{\sum_j \exp[V_j + \ln \sum_m \alpha_{mj} \left[ \sum_l \alpha_{ml} \exp(V_l) \right]^{\alpha_{mj}}]}$$

$$= \sum_m P(m) P(k|m)$$

where the conditional probability of route  $k$  being chosen in link (nest)  $m$ .

$$P(k|m) = \frac{(\alpha_{mk} \exp(-C_k))^{\alpha_{mk}}}{\sum_l (\alpha_{ml} \exp(-C_l))^{\alpha_{ml}}}$$

→ 経路  $k$  の一般化コスト  $C_k$   $\alpha_{mk}$  を使って分解した

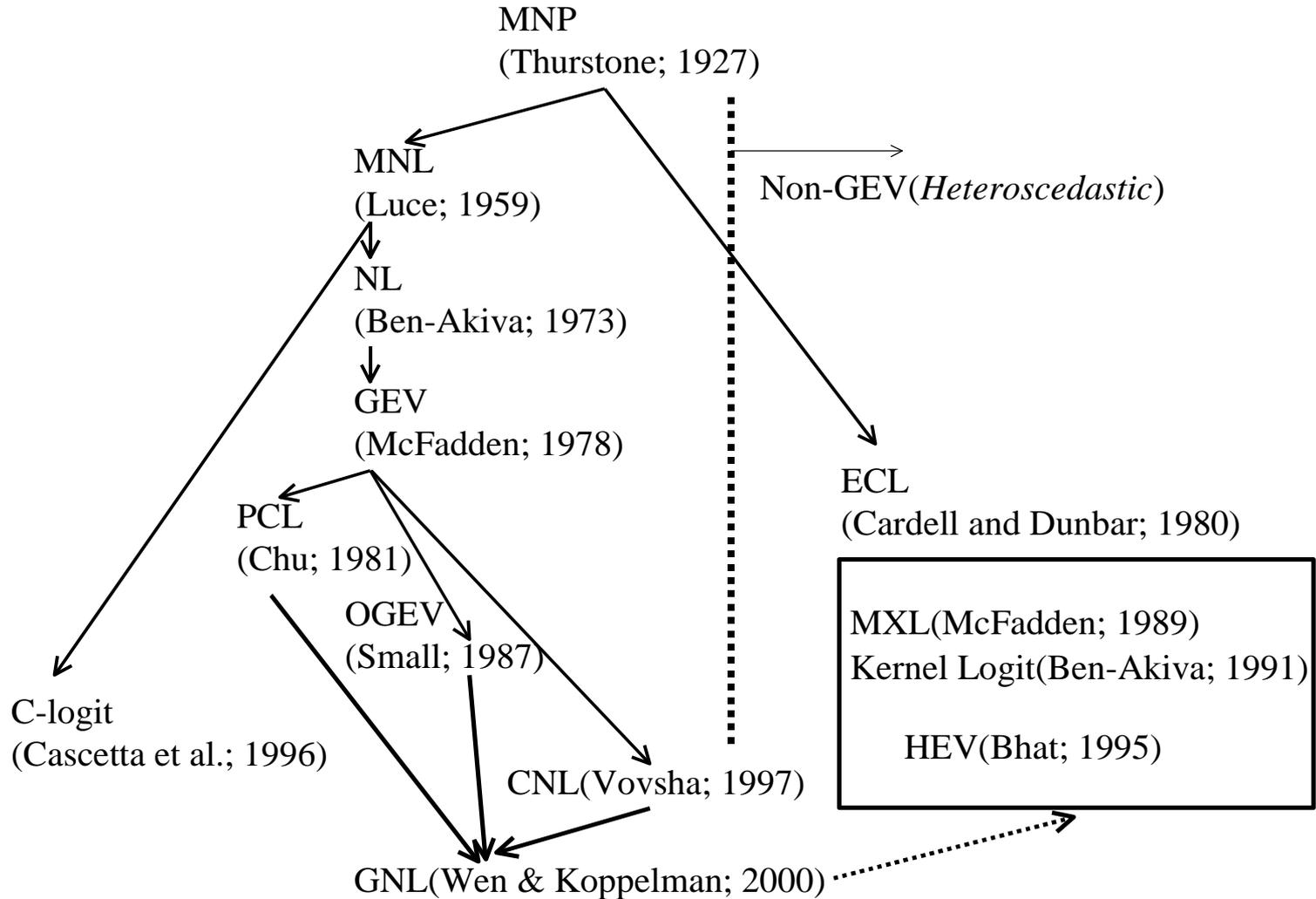
$$P(k) = \frac{\left[ \sum_l (\alpha_{lk} \exp(-C_k))^{\alpha_{lk}} \right]^{\alpha_{mk}}}{\sum_b \left[ \sum_l (\alpha_{bl} \exp(-C_l))^{\alpha_{bl}} \right]^{\alpha_{mb}}}$$

→  $\alpha_{mk} = \frac{L_m}{L_k}$

→  $\sum_k \alpha_{mk} = 1$

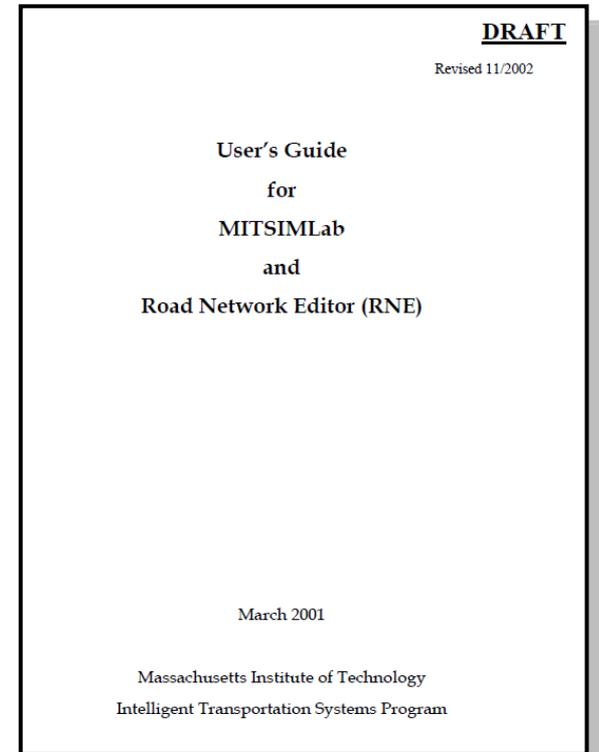
→  $1 = \sum_m \delta_{mk} \frac{L_m}{L_k} = \sum_m \delta_{mk} \frac{L_m}{L_k} = 1$

# ネットワーク上の行動モデル 発展の系譜



# 行動モデルの時代的変遷

- 1960年代: データ革命
  - PT調査データの登場
- 1970年代: 離散選択モデル
  - MNL, NLの開発と実務への適用
- 1980年代: アクティビティモデル
  - 生活行動モデルの概念への拡張
- 1990年代: 動的モデル
  - パネル調査の成果との結合
- 2000年代: いろいろ
  - 相互作用モデル, マイクロシミュレーション, 構造推定





# 行動モデルにおける 完全合理性と限定合理性: Simon(1987)

選択肢のサーチの過程を取り入れる

ヒューリスティックなどの  
確率判断手法を考察

1. 選択可能なすべての  
選択肢とその属性値  
が分かっている

2. 結果の不確実性の  
確率分布は既知である

3. 期待効用最大化  
を用いる

満足最大化原理等の代替的  
行動原理をモデル化する

Real World

# 村から都市へ モビリティ革命

第一次 紀元1100-1400年(小都市の勃興)

十字軍遠征:陸上・海上交通の改善  
封建社会の崩壊

第二次 紀元1500年(アントワープ, リスボン)

帆船技術の進歩と地域間交易の増大

第三次 紀元1800年(100万都市)

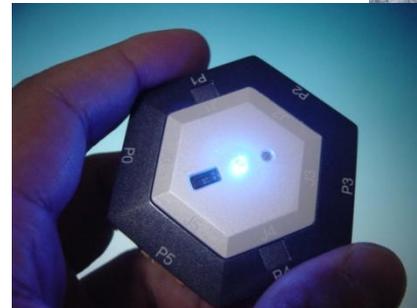
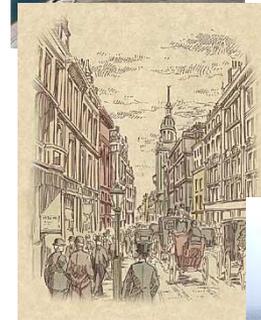
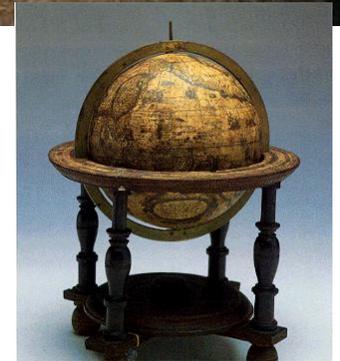
産業革命と鉄道→地域間労働分業  
消費社会→大都市の形成

第四次 紀元2000年(上海, 北京の台頭)

コミュニケーション・ネットワーク革命

都市が, 瞬時に世界経済に影響を与える.  
ノード集積型-クラスター型

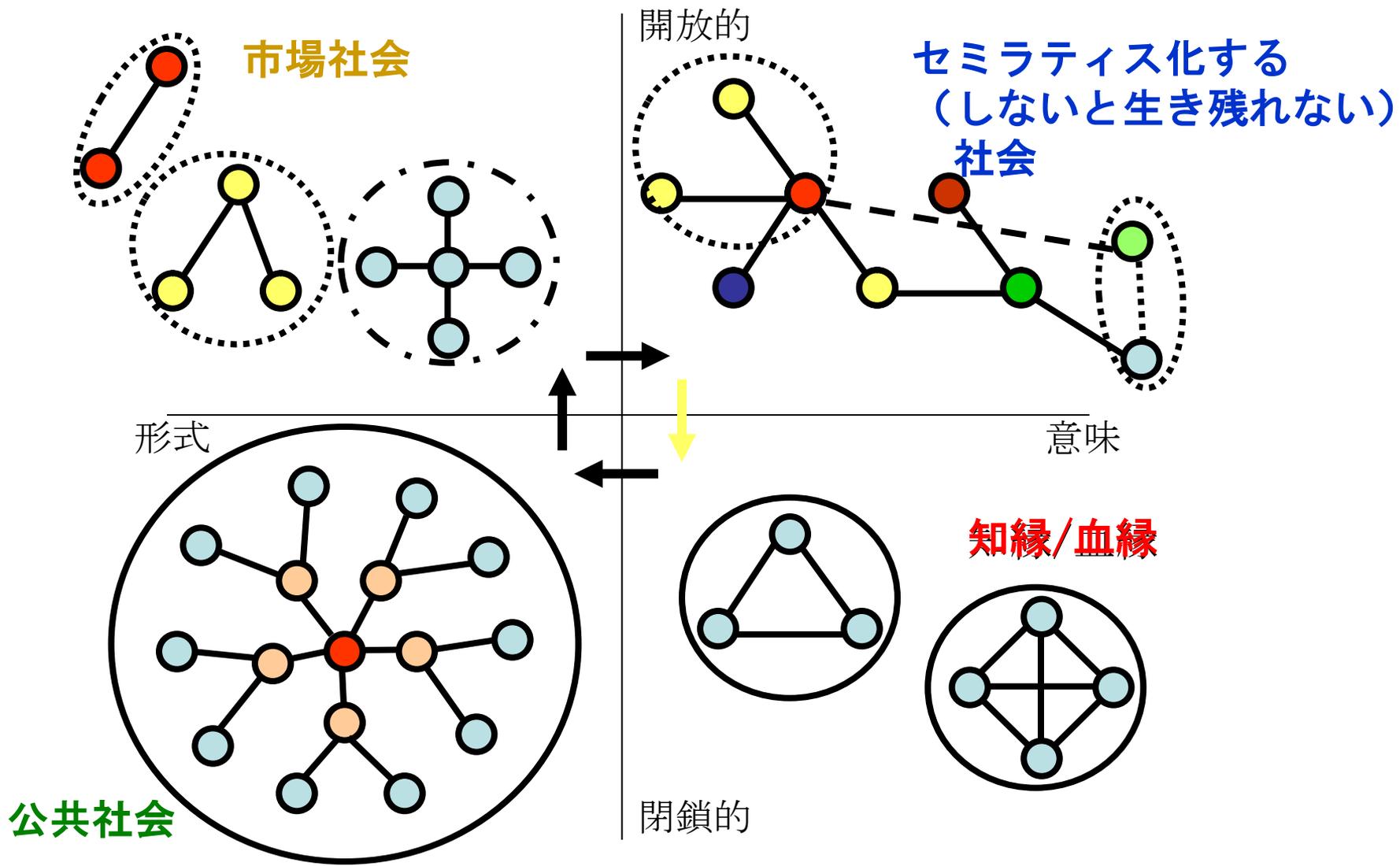
# 知識社会



Train & bike - awesome. But the parking...



# 準拠集団の変化とモデリング



# 何でも市場経済ではうまくいかない

- トリガー戦略(核戦争型)
  - 過去に一度もみなが車を使っていれば路線維持
  - 過去に一度でも車を使えば路線廃止
  - 一度でもどちらかが裏切れば、それ以降協力しなくなるので一度の裏切りの効用の増加は(2 - 1 = 1)は、将来の罰則により帳消しになる。

		B	
		路線維持	路線廃止
A	バス	1, 1	-1, 2
	車	2, -1	0, 0

市が介入し、規範を制度として定めることで、  
壊れかけた協調が再生した

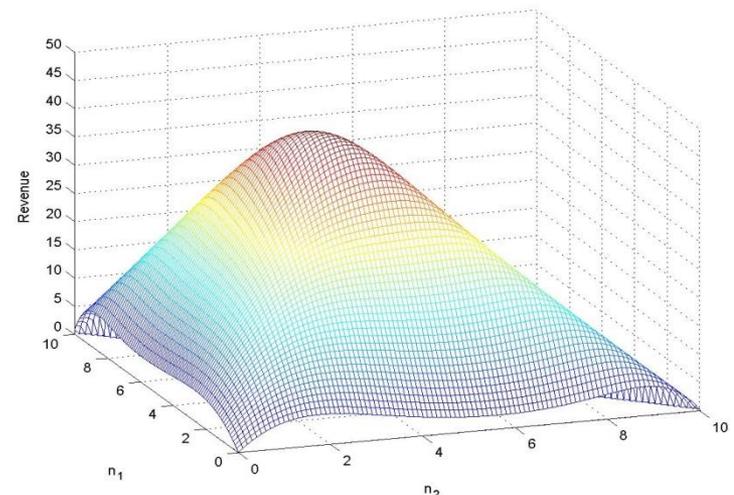
# 最適交通サービス設計

- パラメータ推定を行い、シミュレーションや均衡配分に組み込むことで、様々な政策評価と Yield Management に適用.

$$\max_{n_1, n_2} \sum_{c=1}^C \Gamma_c T_c \left( \frac{r_1 n_1}{1 + e^{\theta \zeta_1 T_c (r_1 n_1 - r_2 n_2)}} + \frac{r_2 n_2}{1 + e^{\theta \zeta_1 T_c (r_2 n_2 - r_1 n_1)}} \right)$$

$$P_k^c(n) = \frac{e^{-\theta V_k^c}}{\sum_{j=1}^K e^{-\theta V_j^c}}$$

$$V_k^c(n_k) = \zeta_1 T_c r_k n_k + \zeta_2 T_c$$



# Choice Architecture における心理学的諸相

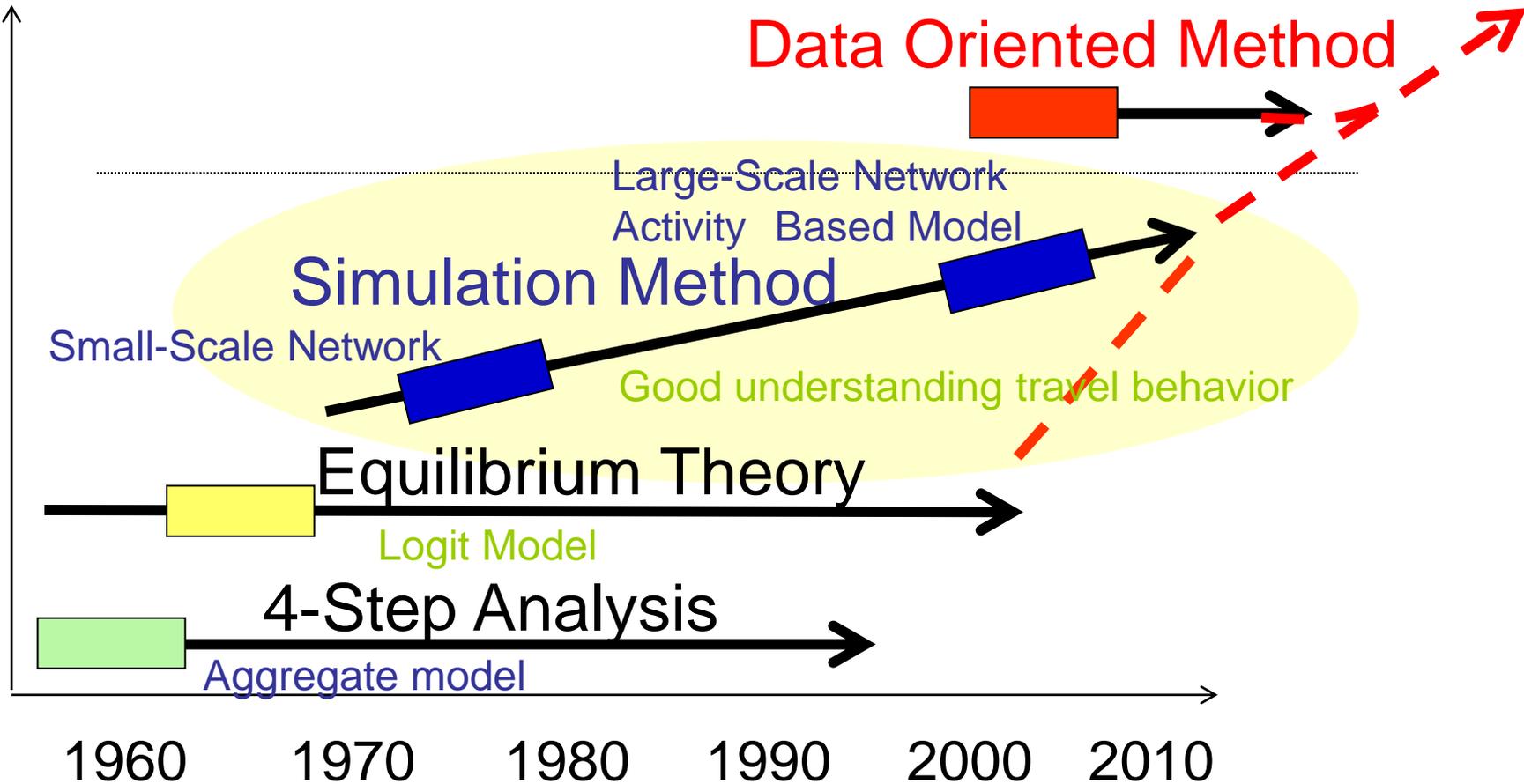
- iNcentives
  - インセンティブ(選択者をどう動機付けるか)
- Understand mappings
  - マッピング(選択とその結果との対応をどう示すか)
- Defaults
  - デフォルト(選択者が選択しなかったときの結果をどうするか)
- Give feedback
  - フィードバック(選択の結果を選択者にどう知らせるか)
- Expect error
  - エラー(選択者の選択しそこないにどう備えるか)
- Structure complex choices
  - 体系化(複雑な選択をどう体系化するか)

# では、「善き選択」とは何か？

- リバタリアン的な**自由/功利主義**「満足した豚よりも不満足な人間である方が、また満足した愚か者よりも不満足なソクラテスである方がよい」(JSミル, 功利主義第二章, 1861)
- パターナリズム批判的な**平等論**:「人々の選択行動や状態そのもの(機能)に焦点をあて、一定の福祉を達成するために必要な手段を社会的保障する一方で、最終的に何を達成するかは本人に委ねる」(Aセン, 不平等の再検討, 1999)
- サッチャーのNHS改革では、(新古典派)のエントホーフェンのKill (Death)-Ratio導入による医療**マネジメント**導入、職業倫理崩壊し医師海外流出でサービス水準低下
- **幸福論**:「子供がその**アニマルスピリット**を暴走させないように制限をつけることだ。でもその制限は、学習して創造的になる選択の自由を子供に与える程度にすべきだ。親の役割は幸せな家庭を築くことである」(JAアカロフ&RJシラー, アニマルスピリット, 2008)

# ネットワーク上の行動分析の発展

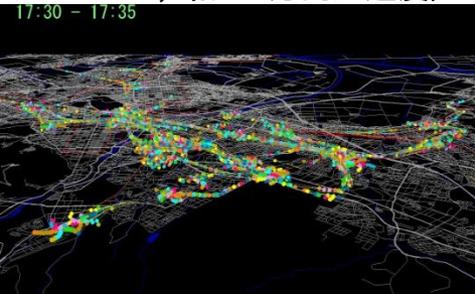
Data Size





### ▲ BCALs (2003年羽藤研製作)

GPS, 1軸×3方向加速度, ジャイロ, 音声, 気圧, 湿度センサー



### ▲ BCALs Online (2008年TF社製作)

GPS, 3軸加速度センサー, au通信モジュール内蔵

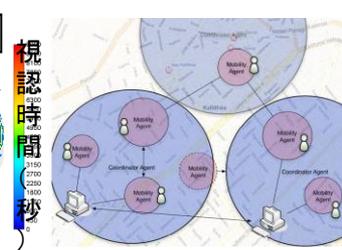
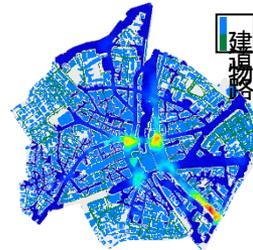


Figure 1-4 - Spatial perception of the IECO-Mobility agents

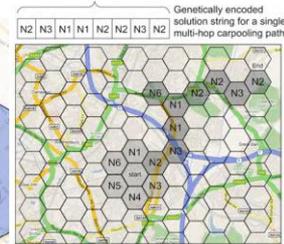


Figure 1-5 - Encoding example of GA for carpooling path

Hato, E., Development of behavioral context addressable loggers in the shell for travel-activity analysis, *Transportation Research C*, Vol18(1), Pages 55-67, 2010.

# 2010年代: 行動データ革命

# 現実空間と仮想空間をつなぐ (プローブパーソン)PP技術

現実空間



人の移動-活動

空間デザイン



- 諸施策
- サービス
- 設計
- デザイン



PP技術

仮想・思考  
空間

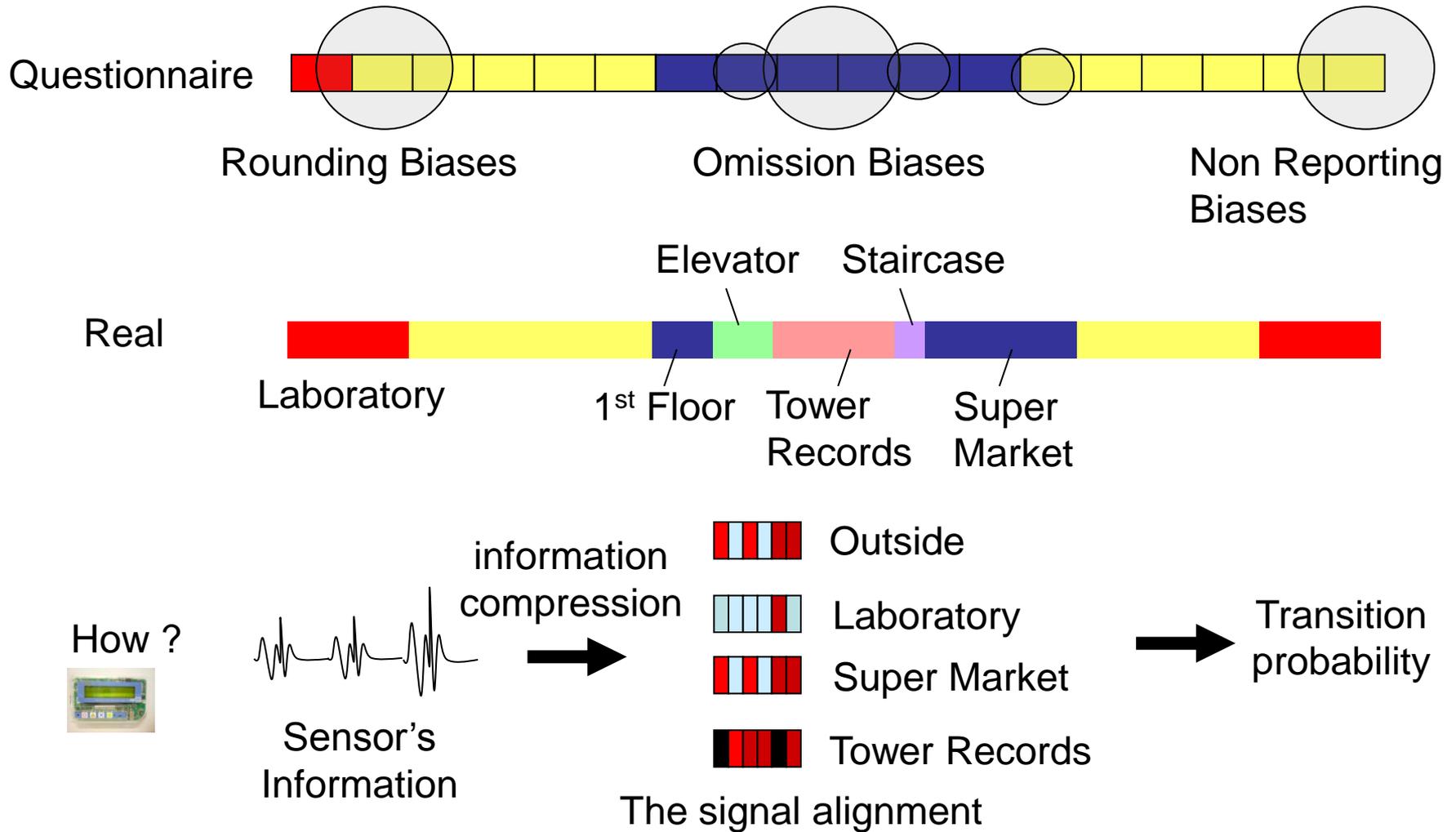


01100101000  
01100011101  
01010000111

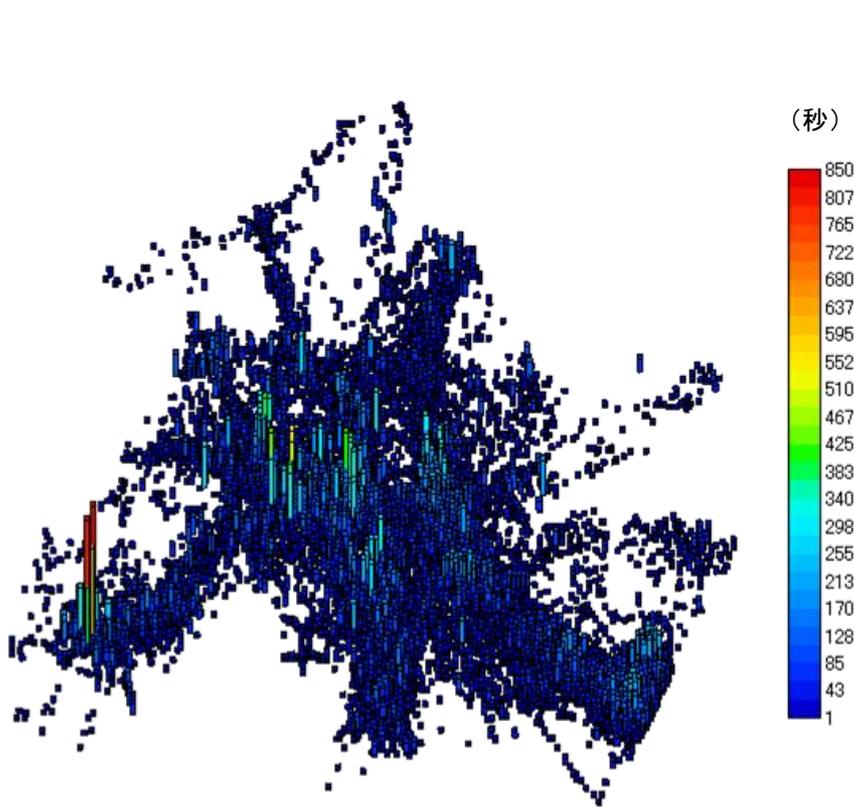


行動-心理モデル  
マクロ・メソ・ミクロ  
シミュレーション

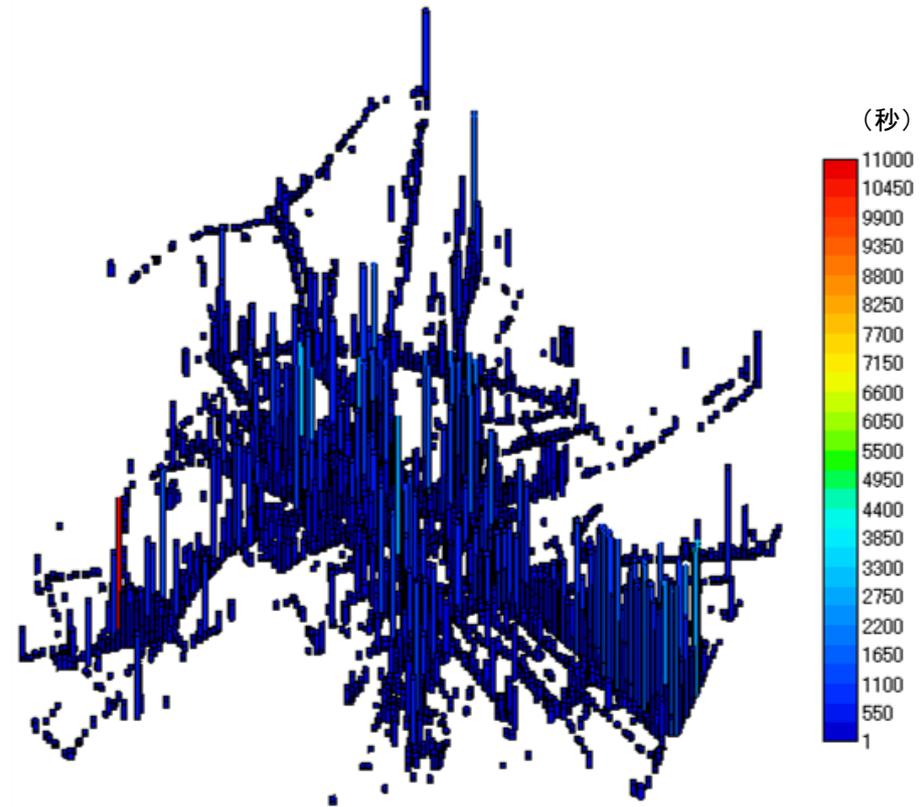
# The Concept of Behavioral Context Estimator using sensor's signal alignment



# 渋谷の移動時間



移動時の位置データを取得間隔で重み付けして表示.

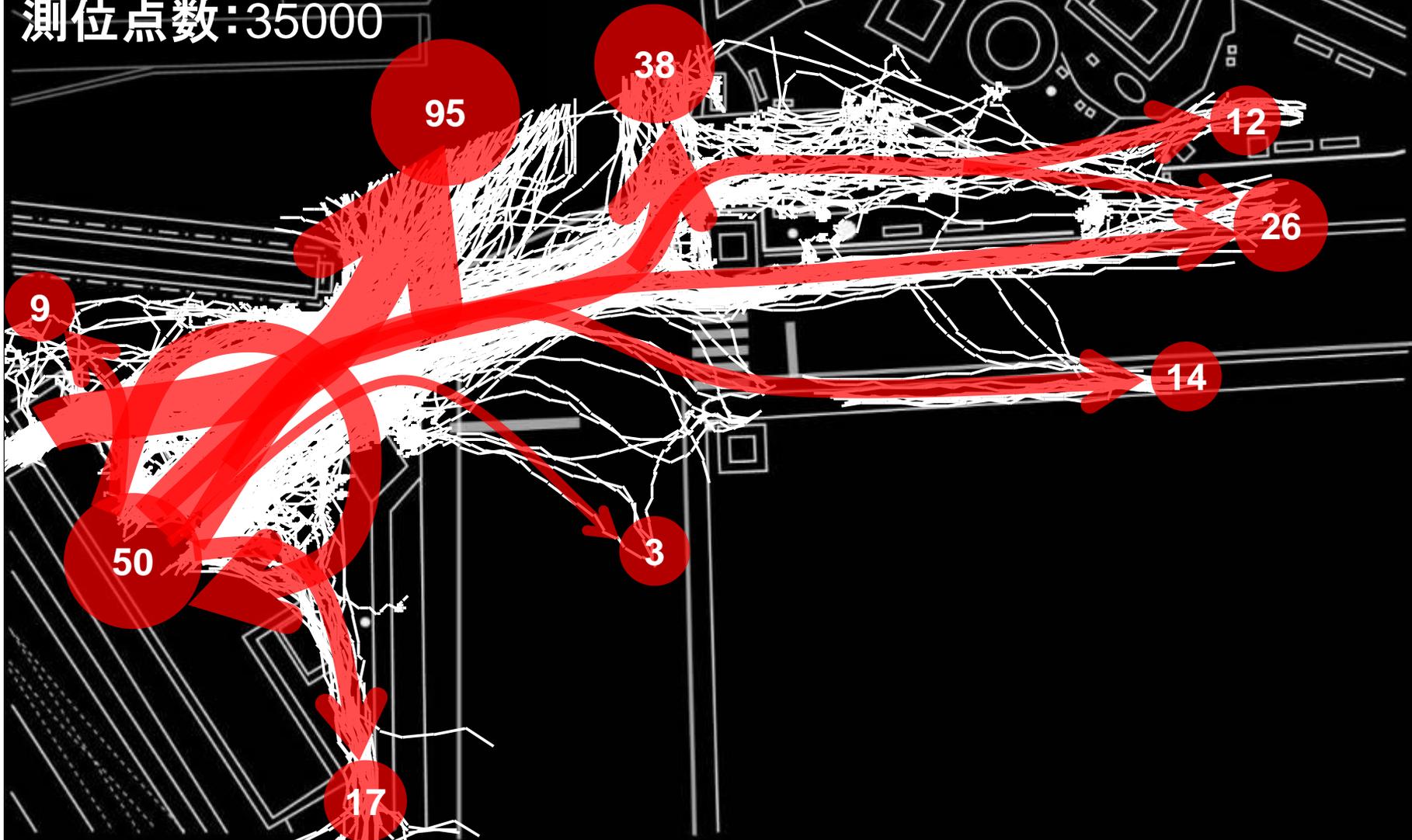


ルートマッチング後に、位置データを経路に吸着させ、取得間隔で重み付け.

# 流動の把握

歩行者数:285

測位点数:35000

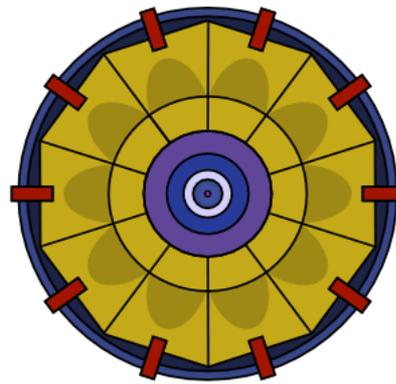


# 行動分析の時代感

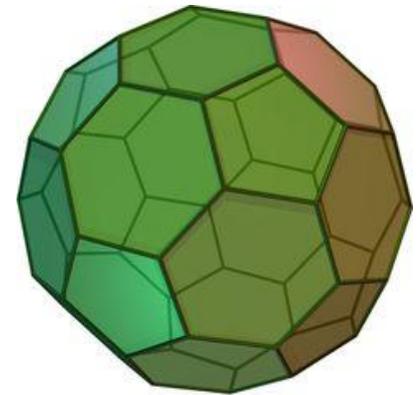
- 回帰分析, 分散分析, 主成分分析, 判別分析, 因子分析, 分割表, グラフィカルモデル,,,
- 計算機技術の進展と様々なアルゴリズム: モンテカルロ法の復活, 核物質内の中性子を再現するモンテカルロ法やギブスサンプラーなどに注目が集まる.



▲フォンノイマンさん



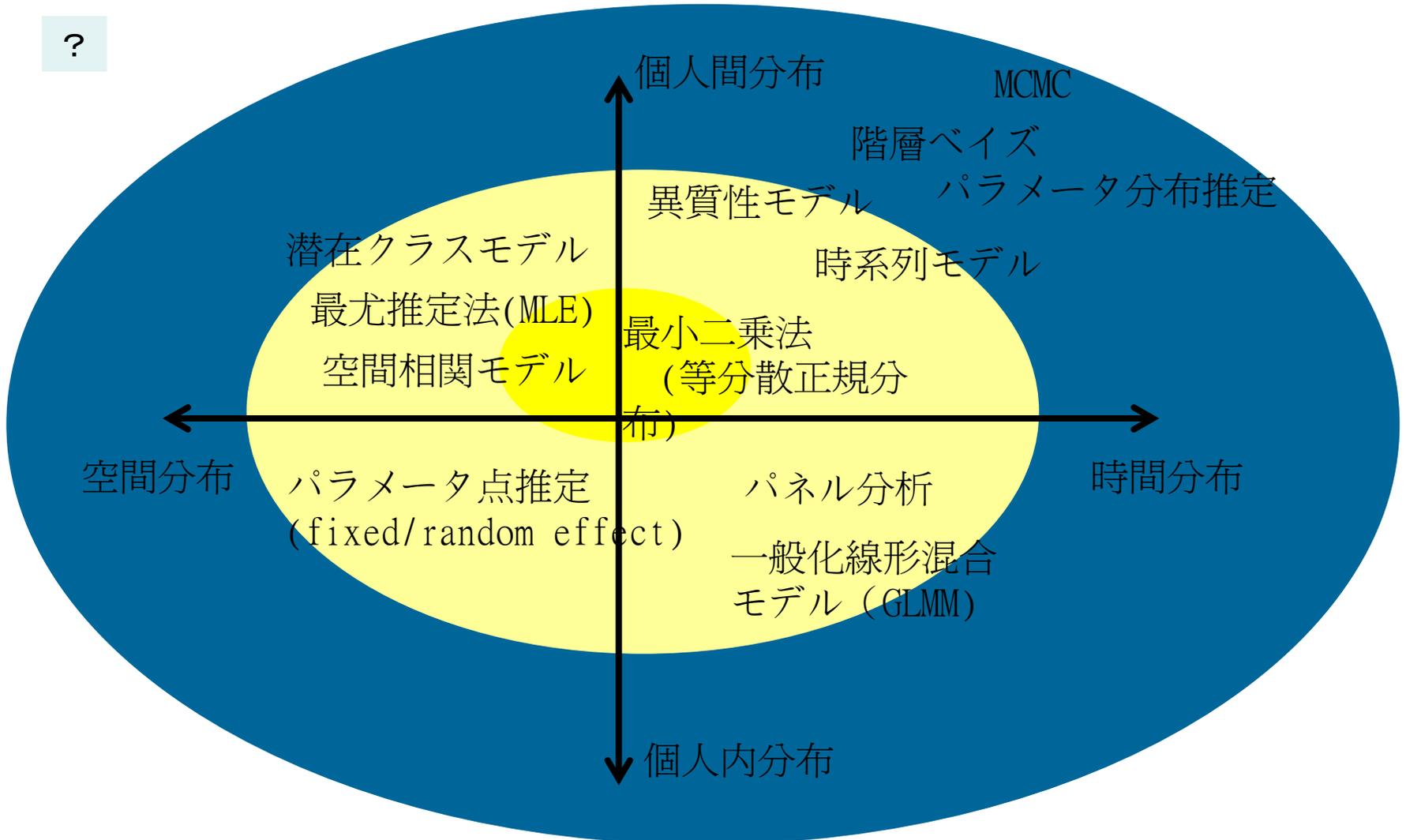
▲原爆の内部構造



▲32面体

# 行動モデルの発展の方向

?



# 帰無仮説 vs データオリエンテッドな 行動モデル

- 帰無仮説検定: ある独立変数が有意にきいているかどうかを有意水準で判断「白か黒か」を結論づける)
- しかし, , , 合成の誤謬や, 変数間の相関が.  
–ピアソン→フィッシャー→尤度→ベイズ(今ココ)
- 「モデル」として世界をよりよく理解する方向へ

# データ化では何が問題か？

Curse of dimensionality: 次元の呪い

データが高次元になると誤差精度が向上しなくなる現象

- 次元数の増加に伴ってモデルが複雑になり、有限のサンプル数では適切な学習ができなくなる。
- 球面集中現象により、次元の増加に伴って、いろいろなデータ間の距離が互いに等しくなっていく。



丹下健三先生

都市と環境



東京計画1960



世界遺産保全



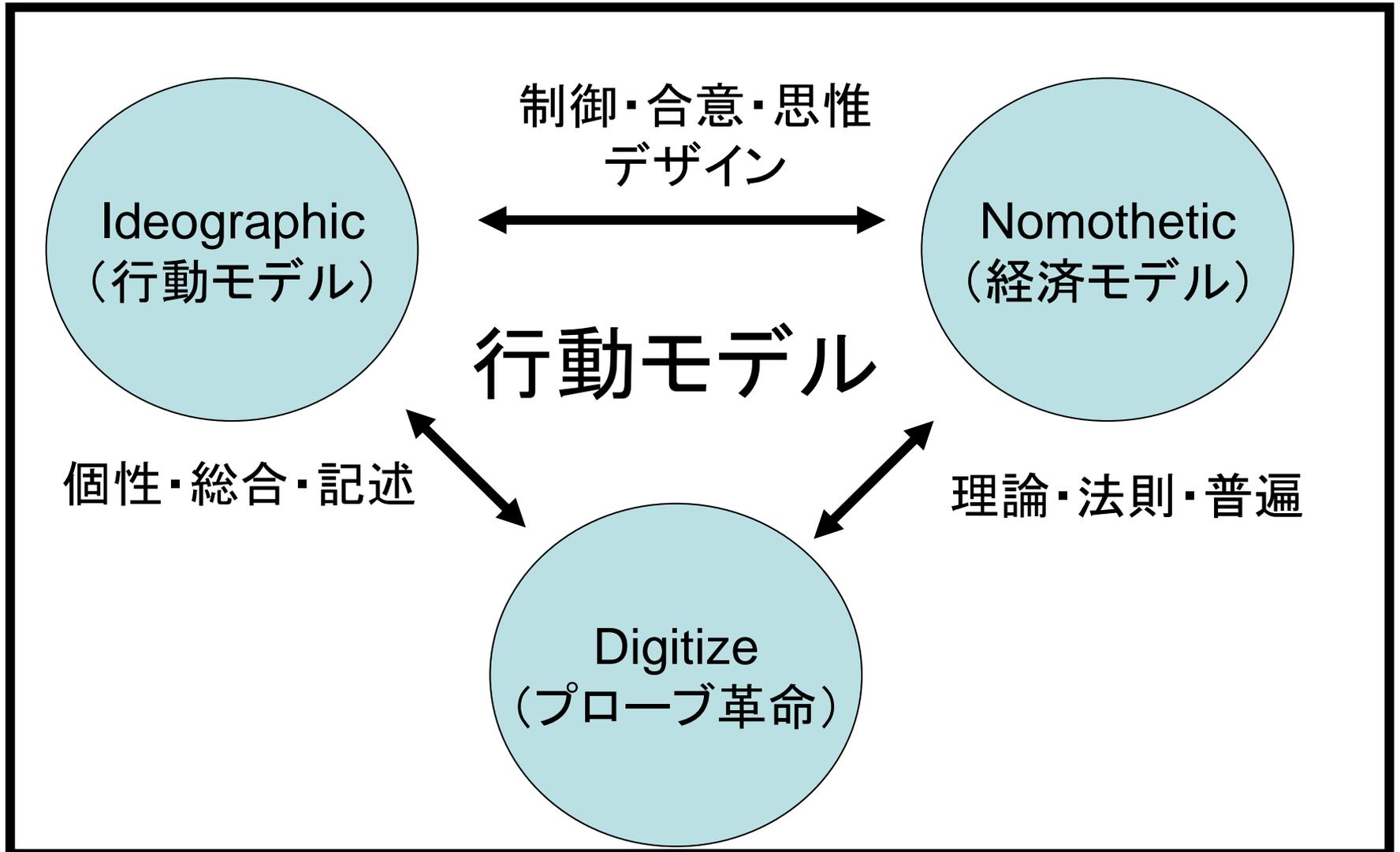
移動空間設計



多孔質化プログラム

行動モデルをめぐる時代感

# まとめ：行動モデルの未来



# 今年の演習課題

- 横浜地区におけるプローブパーソンデータ
- 行動モデルを用いて、都市空間における人々の行動文脈と回遊行動分析を行う。
- モデルビルディングと行動分析
- 香住賞：数理的にモデリングをつめられていたグループ
- Davis賞：行動分析によって興味深いfact findingを実現したグループ

# 行動モデル夏の学校 香住賞

- 上田先生

- 次元の呪いの話が午前中にもあったが、結局はデータをどう見るかというモデルが必要になると思う。複雑なものを複雑に見てはよくわからない。個人とか局所的な話にあまりいかないでほしい、変わることに集中しないでほしい。変わらないことに着目してほしい。消費関数はこの100年変わっていません。

# 行動モデル夏の学校 Davis賞

北村先生:

- そういうようなことをやって、ぜんぜんまとまりませんが、1993年に日本に戻ってきたのは、非常に複雑なモデルに対する嫌悪感。欧州の学会で、英国なんかはそれを露にする。逆行列を手回し計算でやっていた。重回帰で3つか4つ、それ以上やったら、手回し計算機でもう何万回増えます。ということが身にしみている人たちになると思うんですけど。
- アインシュタインが「モデルっていうのはなるべく簡単にしよう。でもそれ以上は簡単にするな」当然のことながら、私たちはモデルを複雑にするんだけど、それ以上は簡単にできないというぎりぎりの線でやっていくとこんな形になりましたよというのが大事ではないでしょうか。