

自動運転時代の交通システム理論： 展望と課題

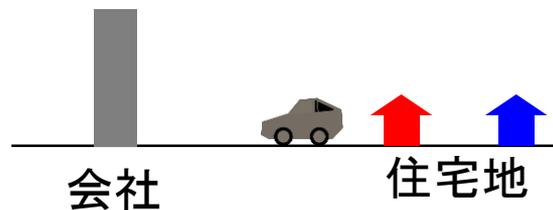
瀬尾 亨

東京大学 社会基盤学専攻 助教
seo@civil.t.u-tokyo.ac.jp

CSISシンポジウム@日本科学未来館
2019-11-29

- 交通システムと自動運転
- Operational: 道路交通流
- Tactical: 自動車の使い方
- Strategic: 都市構造
- 課題と必要な交通システム理論

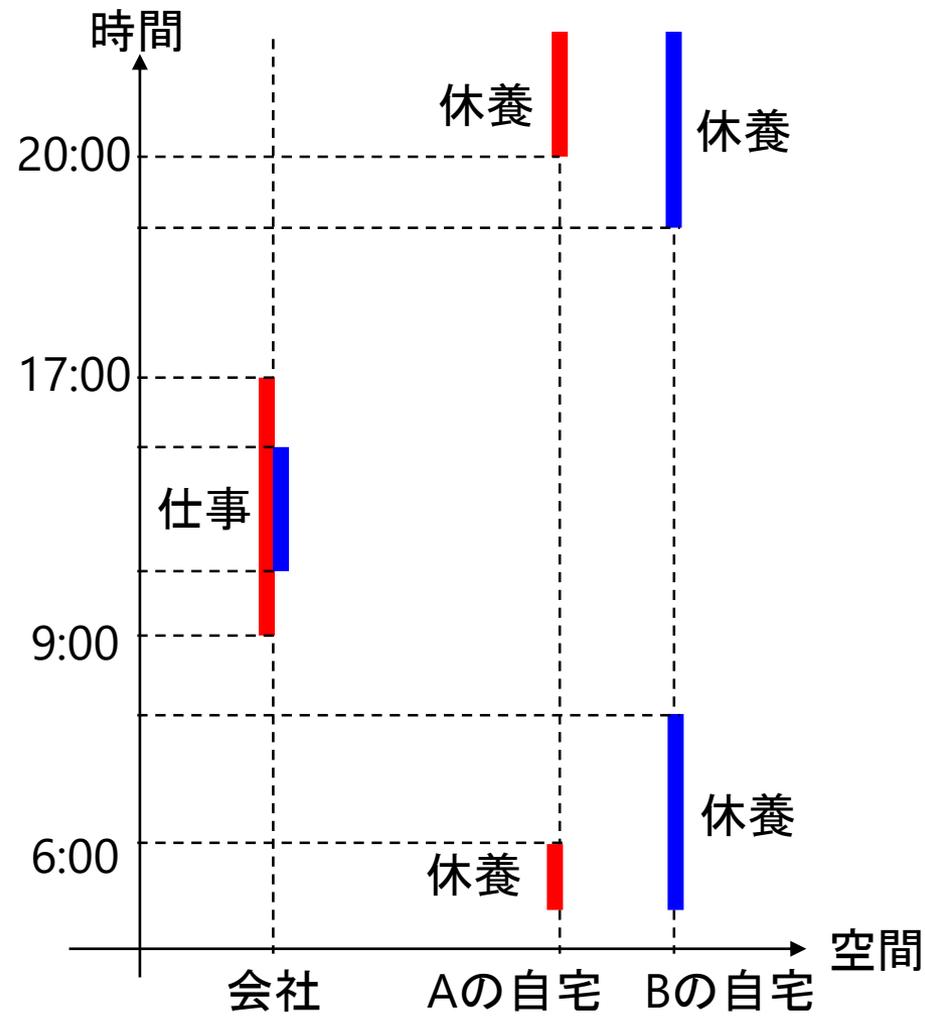
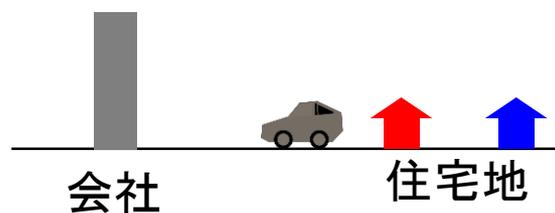
Aさん	Bさん
~6:00 Aの自宅で休養	~8:00 Bの自宅で休養
移動	移動
9:00~17:00 会社で仕事	10:00~16:00 会社で仕事
移動	移動
20:00~ Aの自宅で休養	19:00~ Bの自宅で休養



- 人は、特定の時間に特定の場所に居たい
- 交通システムは、人を希望通りの時間に希望通りの場所に居るようになるための存在
 - 道路 + 自動車 + 運転者
- 良い交通システム = 人を速く・安く・確実に運べる

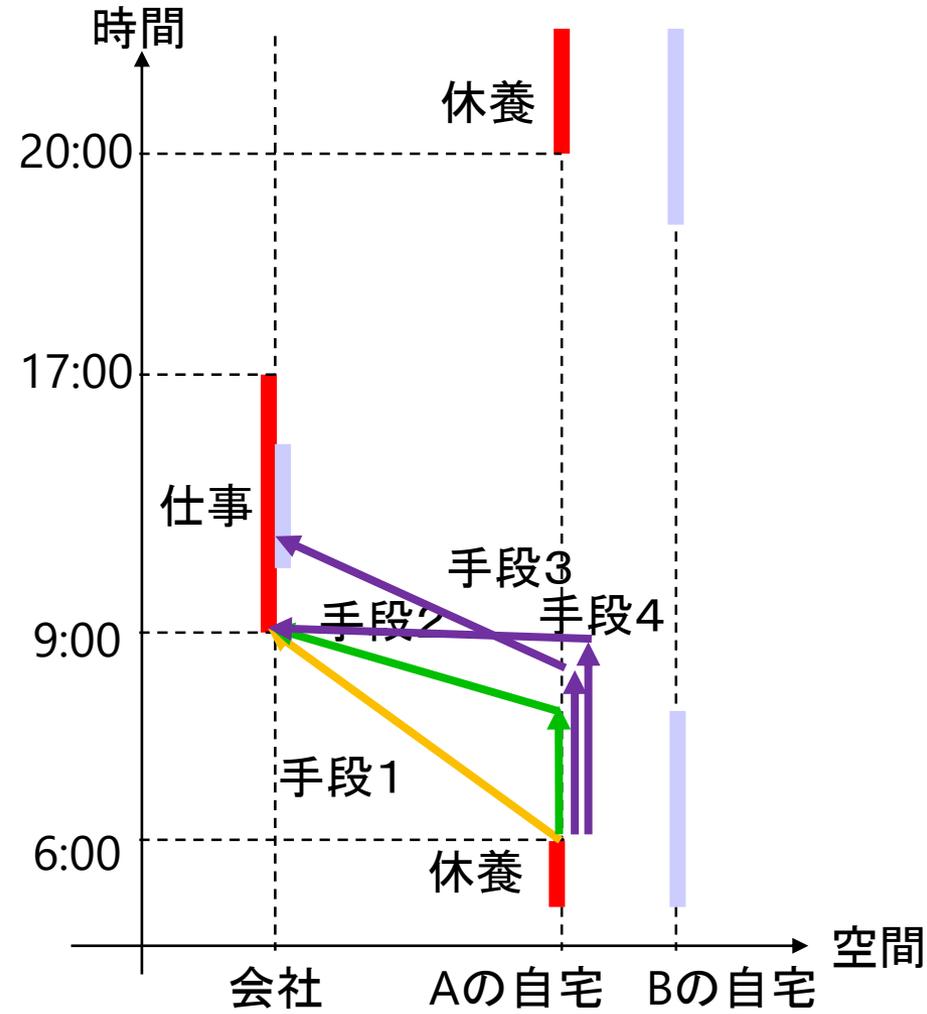
時空間図を使った予定表の表現

Aさん	Bさん
~6:00 Aの自宅で休養	~8:00 Bの自宅で休養
移動	移動
9:00~17:00 会社で仕事	10:00~16:00 会社で仕事
移動	移動
20:00~ Aの自宅で休養	19:00~ Bの自宅で休養



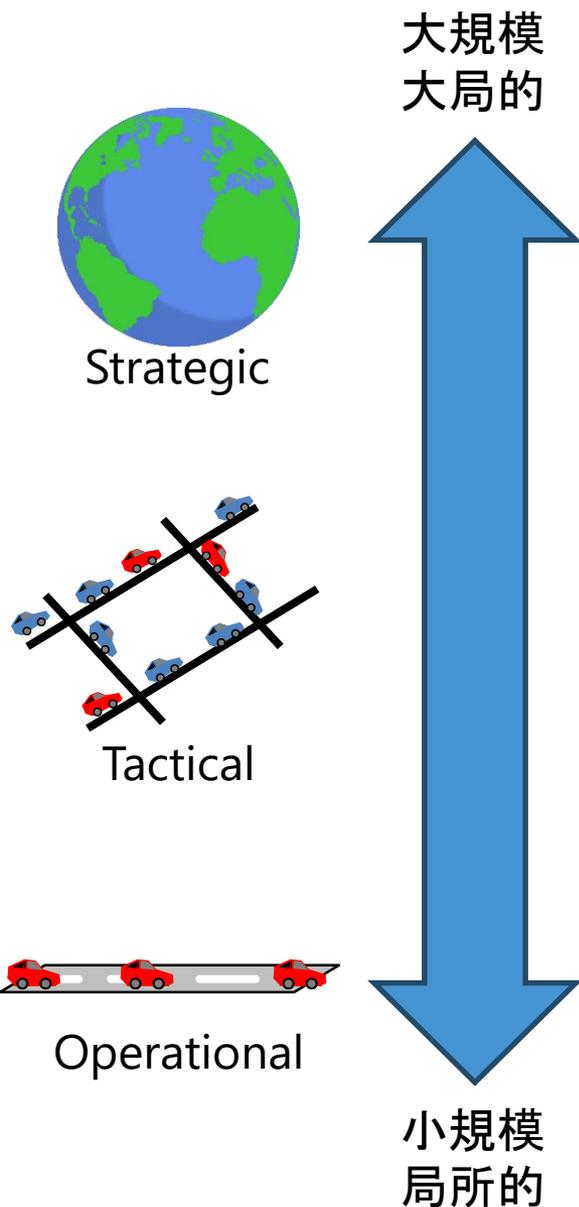
- 人の予定表は時空間図中の縦線として表現できる
- 縦線のない時間帯に交通システムを使って移動する

- 交通手段1
 - 6:00に家を出発し, 9:00に会社に着く
- 交通手段2
 - 8:00まで自由に過ごしてから家を出発し, 9:00に会社に着く
- コスト等が同じなら, 2の方が効率的
- 縦線の間をうまく線でつなぐのが交通システムの仕事
- 交通システムの性能により, こういった線が引けるのが決まる



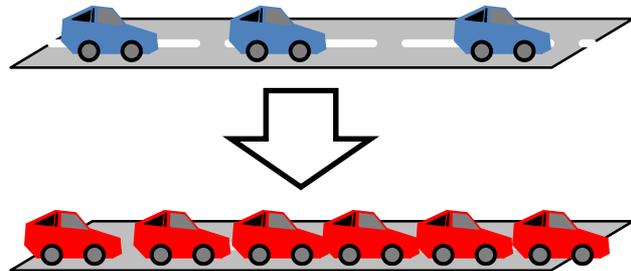
- 自動運転は、交通システムを効率化させるための新たなツール
- 自動運転の機能
 - 自動的に運転される
 - コネクティッドカーとして管理センターや他の自動運転と通信し、協力できる
- 自動化されていることを前提とし、コネクティッド性を活かして使いこなすのが重要
 - 自動運転車両の英名 : Connected and automated vehicle



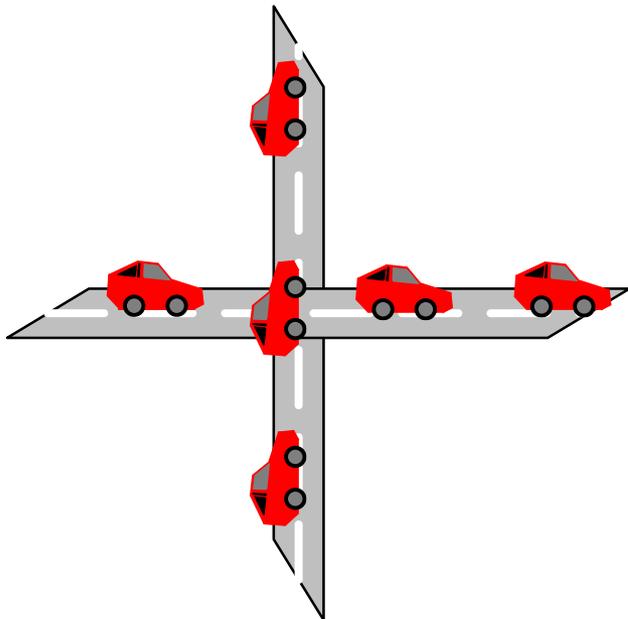


- Strategic, Tactical, Operationalの各レベルを個別に効率化できる(かもしれない)
- 各レベルを高度に連携させられる(かもしれない)
 - 現在はレベル間に大きな断絶がある
- 達成できるかどうかは社会全体の取り組みにかかっている
- 個々の道路利用者や各種企業だけの取り組みでは達成できない部分もある

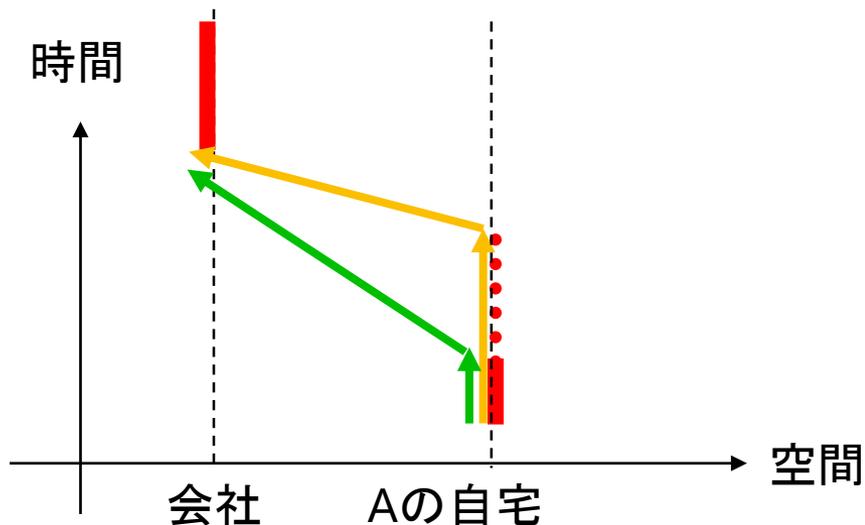
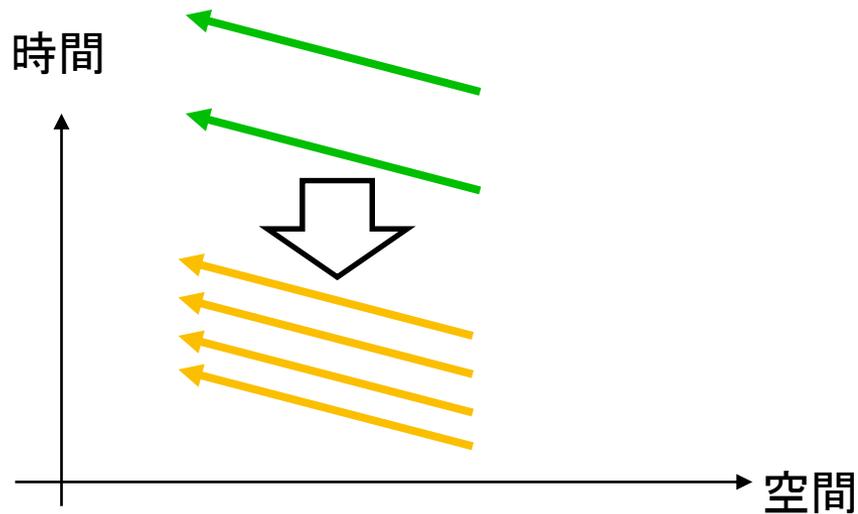
- 自動運転と交通システム
- Operational: 道路交通流
- Tactical: 自動車の使われ方
- Strategic: 都市構造
- 課題と必要な交通システム理論



- 素朴な自動運転
 - ドライバー不要
- 高度な自動運転
 - 隊列走行
 - 合流支援
 - 信号なし交差点



効率的な走行



- 同じ道路インフラで多くの交通を捌ける
 - 自動運転により, 交通容量を2倍にできる可能性*
 - 渋滞削減
 - 現在の自動車の旅行時間のうち40%は渋滞による遅れ時間*
 - 旅行時間減少
 - 長距離移動が楽になる

- 時空間図上にいろいろな矢印を引けるようになる

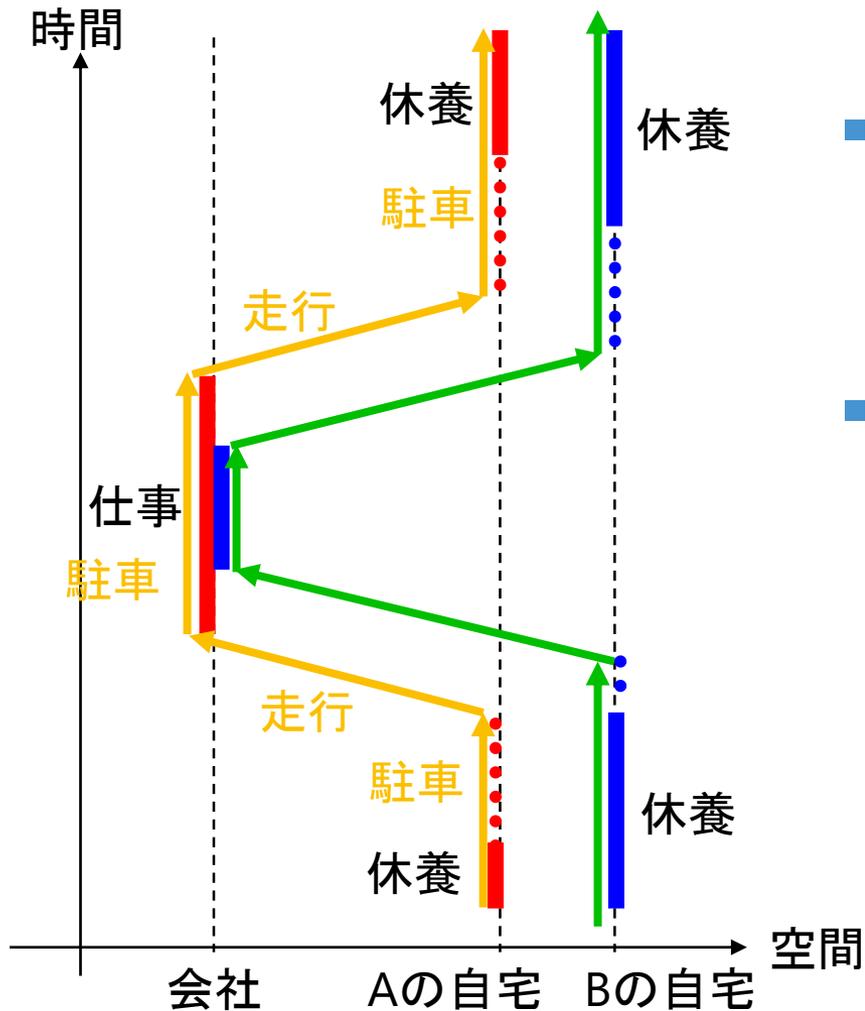
*Le Vine, S., Kong, Y., Liu, X., Polak, J.: Vehicle automation and freeway 'pipeline' capacity in the context of legal standards of care, Transportation, 2017

国土交通省: 平成27年度国土交通省白書, 2015

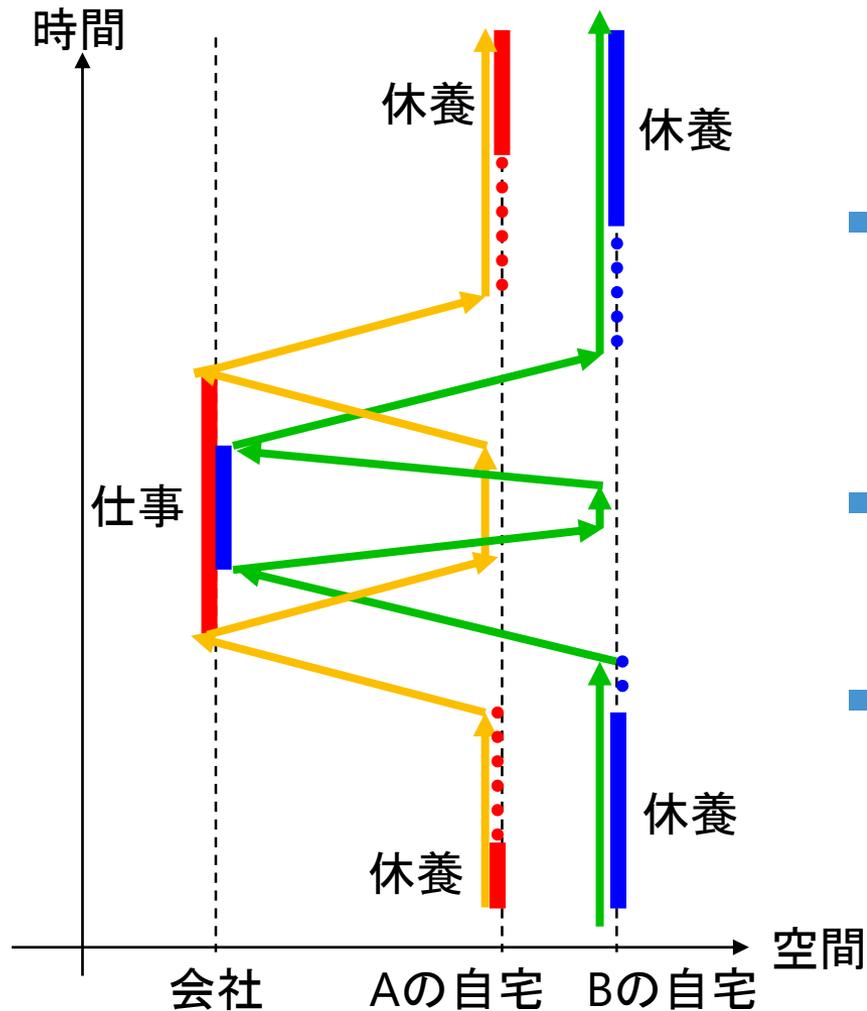
- 自動運転とは
- Operational: 道路交通流
- Tactical: 自動車の使われ方
- Strategic: 都市構造
- 課題と必要な交通システム理論

自動車の使い方

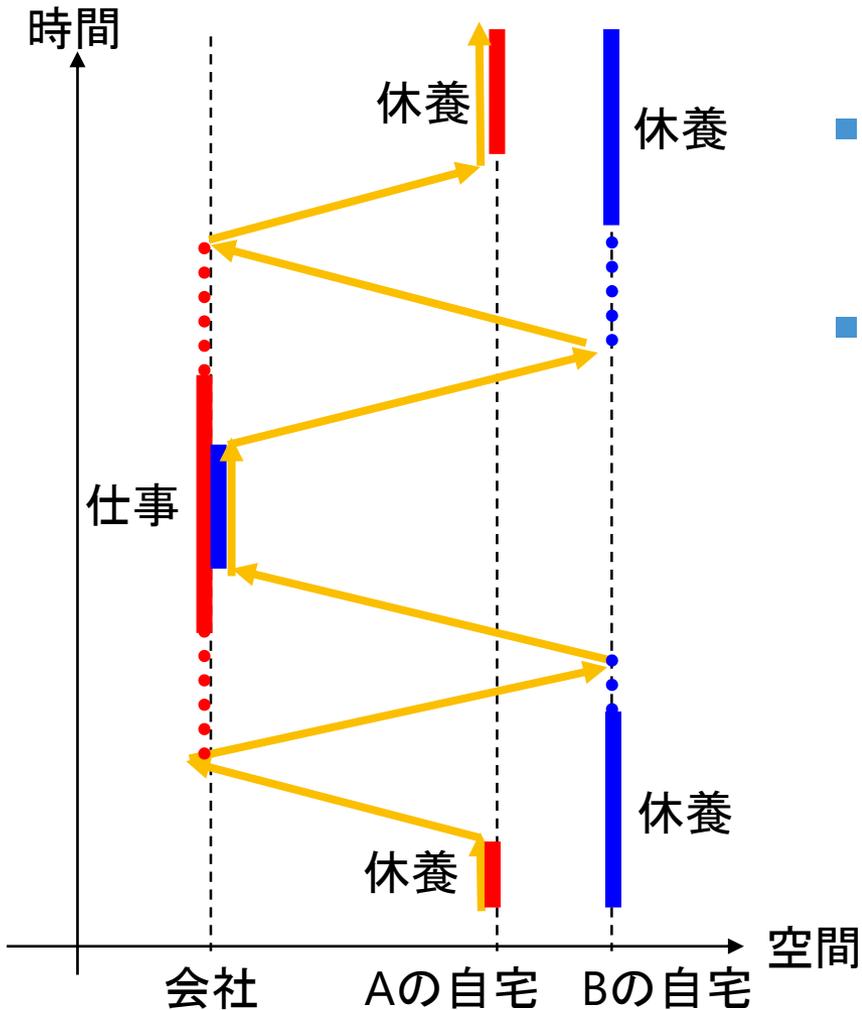
- マイカー
 - 個人が自分の手動運転車両を専有する
- マイ自動運転車両
 - 個人が自分の自動運転車両を専有する
- カーシェア
 - 社会が自動運転車両を保有し、人々を運ぶ
- ライドシェア
 - 社会が自動運転車両を保有し、人々を相乗りで運ぶ



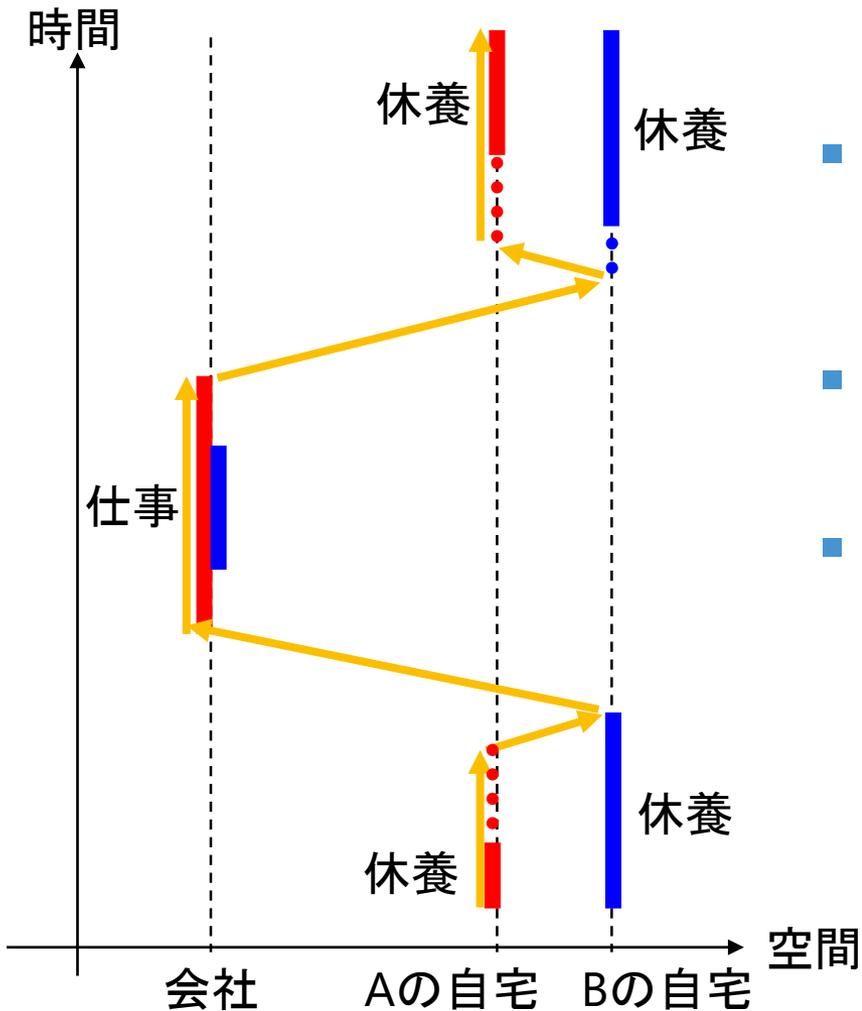
- 現在のマイカーは無駄が多い
- 車は5~10%の時間しか使われていない
- 駐車場は最大でも50%の時間しか使われていない
 - 1台当たり訪問か所分のスロット



- 駐車場を削減できる
 - 1台当たり1スロットで良い
- Strategicな都市計画にも影響を与える
- 車の無駄は変わらない
- 無人車両の回送が増える
 - NYではUberの回送により旅行時間が10%増加



- 車両数・駐車場を削減できる
- 無人車両の回送はある
- 将来予測が必要
 - 将来発生する需要を予測し、先回りする必要

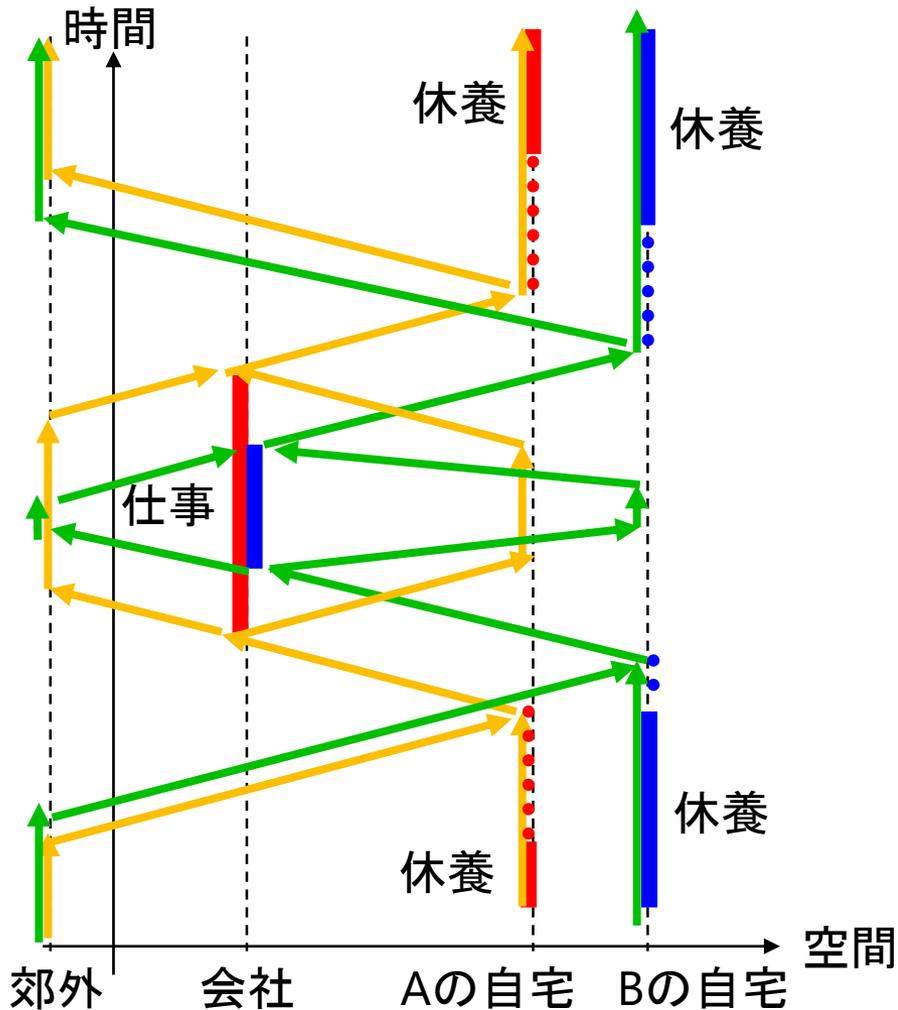


- 車両数・駐車場・無人車両回送を削減できる
- 最適な配車パターンを計算する必要がある
- 将来予測は必要
- アメリカでの予測例*
 - 車両数を10~20%に削減
 - 駐車場はそれ以上削減
 - 総走行距離は4%増加(ライドシェア無しだと8%増加)

*Fagnant, D. J., Kockelman, K. M.: The travel and environmental implications of shared autonomous vehicles, using agent-based model scenarios, Transportation Research Part C: Emerging Technologies, 2014, 40, 1-13
 Fagnant, D. J., Kockelman, K. M.: Dynamic ride-sharing and optimal fleet sizing for a system of shared autonomous vehicles, Transportation Research Board 94th Annual Meeting, 2015

- 自動運転と交通システム
- Operational: 道路交通流
- Tactical: 自動車の使われ方
- Strategic: 都市構造
- 課題と必要な交通システム理論

駐車場配置



- 駐車場
 - 都市部における面積割合: 5-40%*
- 自動運転の場合, 駐車場はどこにおいても良い
- 郊外などにまとめれば, 都市の空間を有効利用できる

*満田 真史; 樋口 秀; 中出 文平 & 松川 寿也 地方都市中心市街地の屋外平面駐車場の実態とその対応に関する研究 都市計画論文集, 2009, 44, 553-558

Hashem Akbari, L Shea Rose, and Haider Taha. 2003. Analyzing the land cover of an urban environment using high-resolution orthophotos. Landscape and urban planning 63, 1: 1-14

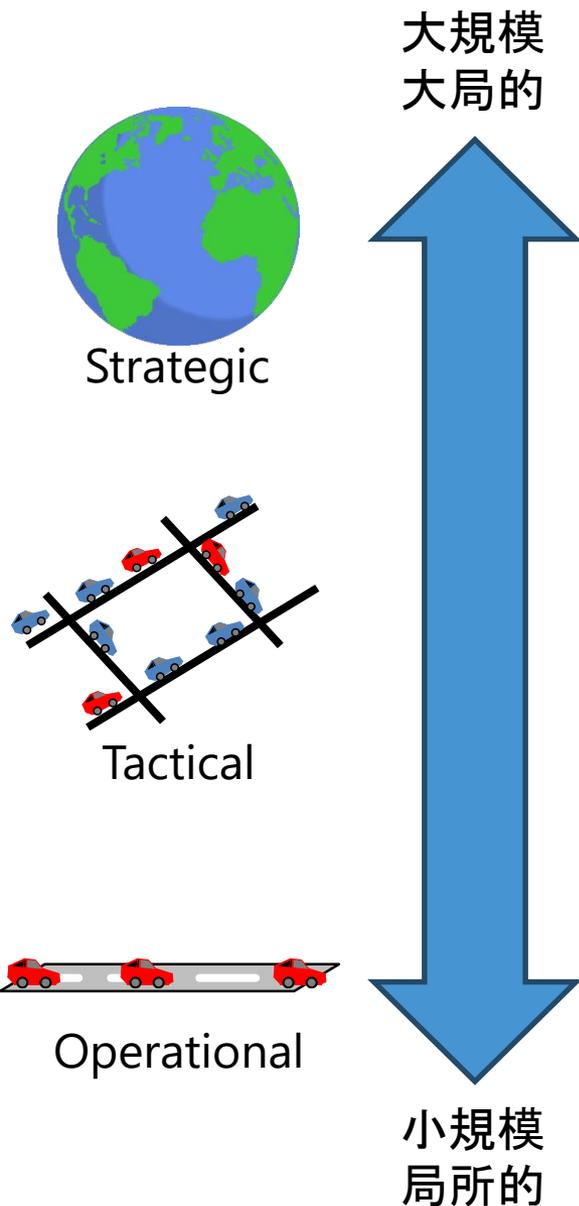
■ 道路ネットワーク

- 運転スタイルが効率化される
- 空走車両が増える
- ライドシェアで車両が減る
- 道路の割合：10-20%*

■ 人口・産業分布

- 駐車場・道路の土地が解放される
- 長距離ドライブの運転の手間がなくなり、時間も短くなる
- 具体的な変化には諸説ある
 - 都心の土地が有効利用できるようになり、都心が約10%人口増加*
 - 郊外から楽に通勤できるようになり、郊外が約10%人口増加*
 - 政策の自由度が上がるとみるべき

- 自動運転と交通システム
- Operational: 道路交通流
- Tactical: 自動車の使われ方
- Strategic: 都市構造
- 課題と必要な交通システム理論



- これまでどおり、個別のサービスを効率化することはもちろん大事
 - 自動運転効率 (Operational)
 - ライドシェアの配車 (Tactical)
 - 道路ネットワーク (Strategic)
- 複数のサービスをレベル間で連携させて効率化させることも大事になる
 - 道路ネットワークを最適にできるようなライドシェアの配車 (Strategic-Tacticalの連携)
 - 今までは、自家自動車の走行パターンは制御不能だった

「自動運転があれば渋滞は自動的に解消する」

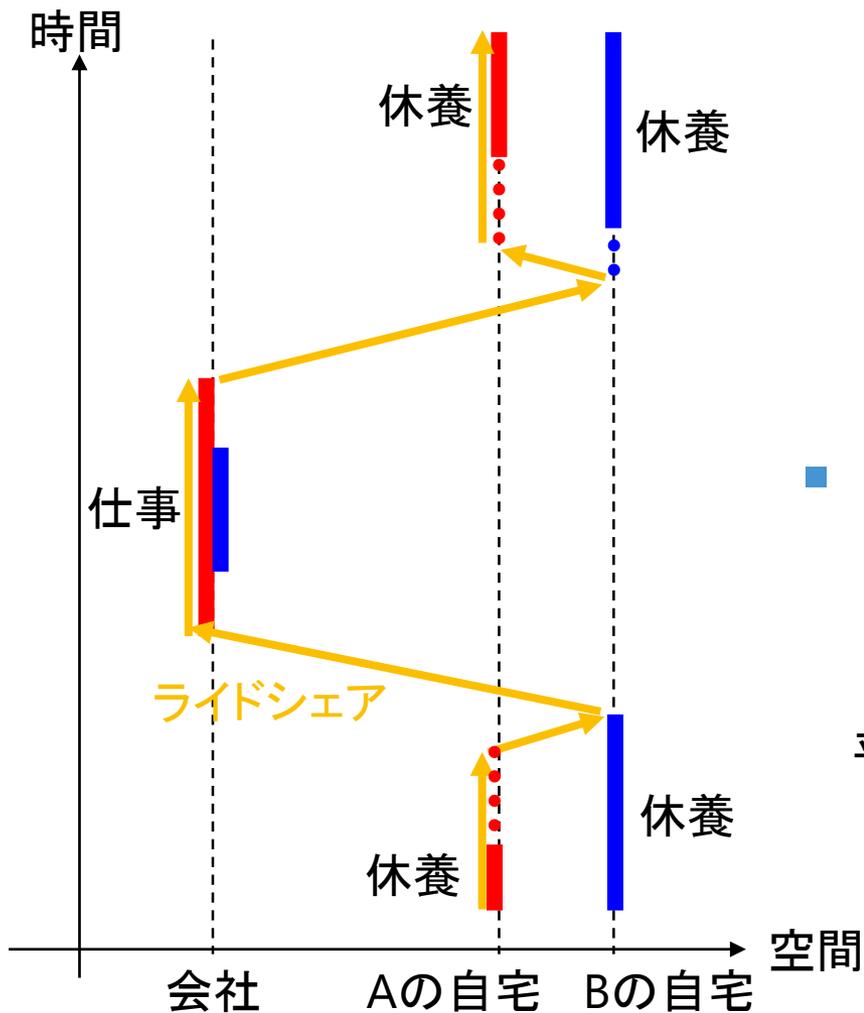
→ まちがい！

- 無人車両の回送
- 将来予測の問題

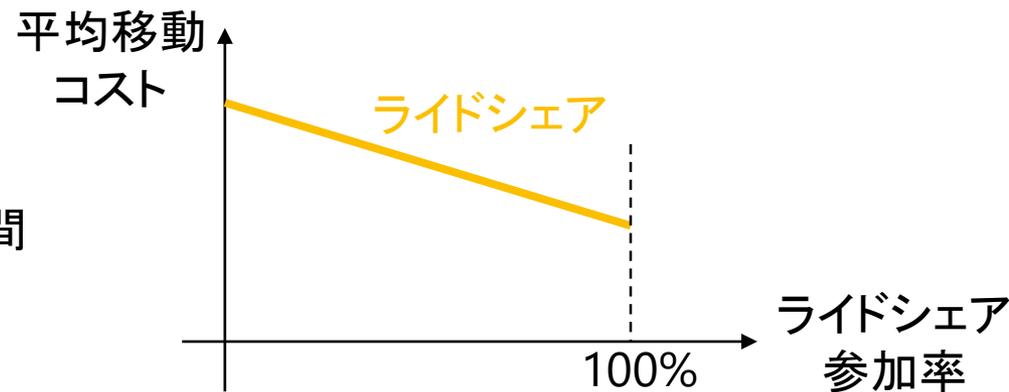
「効率的な配車と将来予測と(略)で効率化された自動運転があれば渋滞は自動的に解消する」

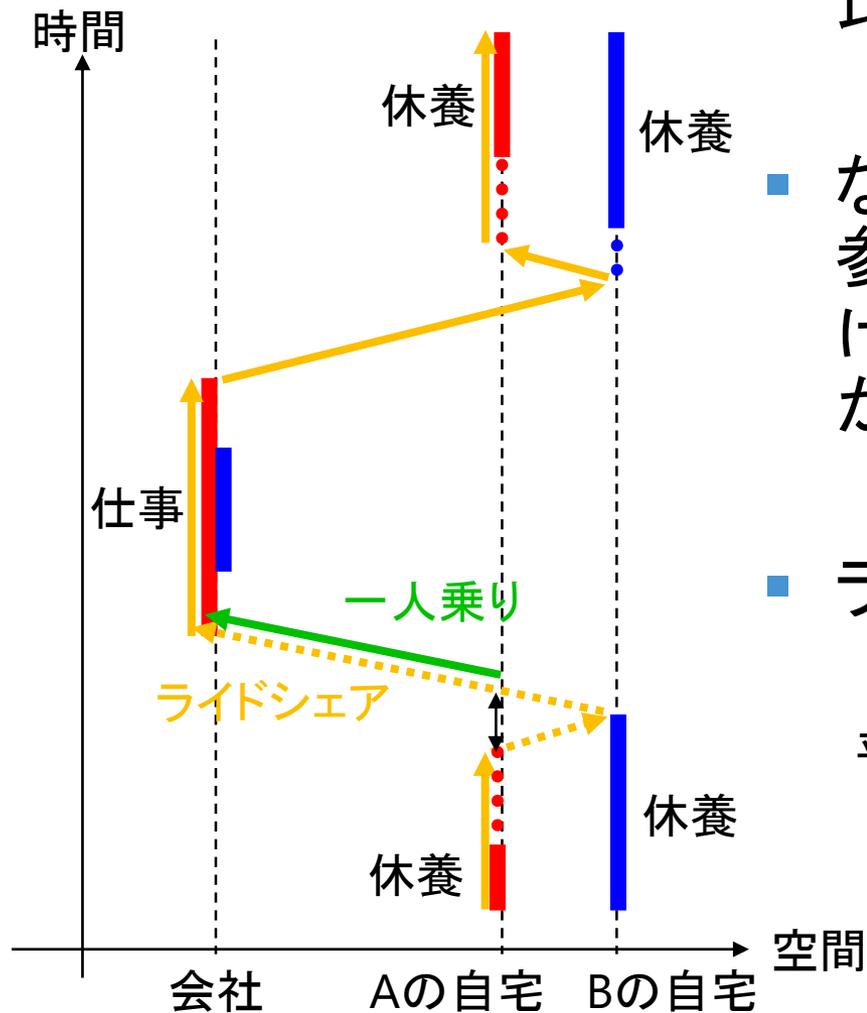
→ まちがい！

- 自動運転の外側の、社会全体の仕組みを考える必要

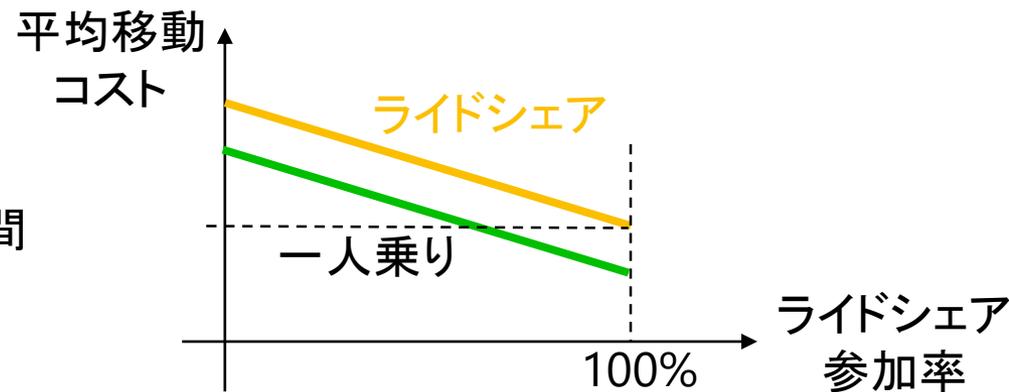


- ライドシェアは, 参加者が多ければ多いほど効率が良い
 - 似たような旅程のヒトが増える
 - 社会全体の自動車数が減少し, 渋滞が減る
- 全てのヒトがライドシェアを使うと, 全てのヒトが得をする

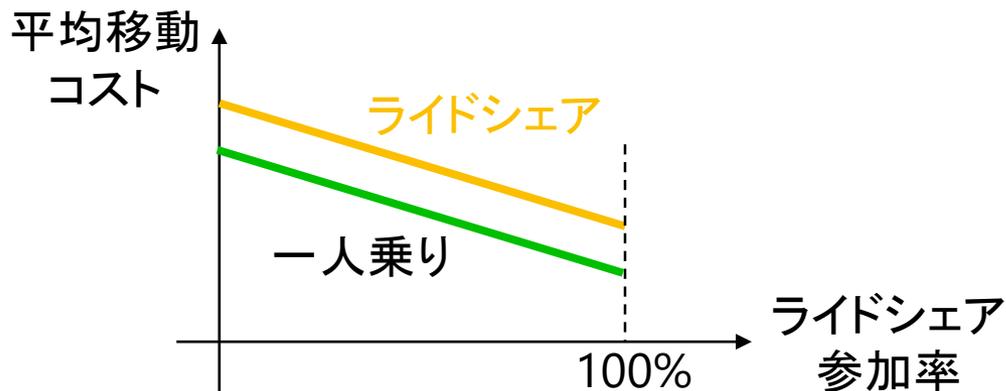




- しかし、ライドシェアは一人乗りと比べて遠回り
- なので、社会全体のライドシェア参加率が何%であろうと、抜け駆け的に一人乗りを利用したほうが個人的には得
- ライドシェアが使われなくなる！



- 全員がライドシェアを使えば、全員が一人乗りを使っているときと比べて全員が得をする
 - しかし、各瞬間では一人乗りを使った方が得をする
 - すると、全員が一人乗りを使ってしまう
 - 結果として、全員が損をする。
-
- 交通システムにおいて同様の問題は多数存在
 - 例:ラッシュアワーの混雑
 - 「市場の失敗」の一種
 - 人々が非合理的・無知なわけではない
 - 社会の構造に問題がある



- 混雑課金
 - 一人乗りは他人に迷惑をかけるので、迷惑分を金で払わせる
 - 適切な課金により、全員がライドシェアを利用するよう保証できる
 - 営利企業の利益最大化とは相反することがあるので、公共的主体が介入する必要がある
- 交通システムの分野では古くから研究されている
 - ラッシュアワー混雑は混雑課金によって完全に解消できる
 - しかし、混雑課金は非常に不人気...
- 社会の全員が、「抜け駆けを防げば社会の全員が得をする」ことを認識し、抜け駆けを防ぐためのルールを整備する必要
 - 効率的なルールの設計
 - 教育・啓蒙活動

混雑課金の事例



https://en.wikipedia.org/wiki/High-occupancy_toll_lane#/media/File:I-15_Express_Lanes.jpg



Uber

- 都心部のロードプライシング
 - 特定道路・エリアに進入すると課金
- High Occupancy Tollレーン
 - 相乗り車両は無料，一人乗り車両は有料の高速道路車線
- Uber等のリアルタイム変動料金
 - 需要が多い時には料金が高くなる
- まだまだ粗い．自動運転時代にはよりきめ細かい課金が可能

高度な価格設定

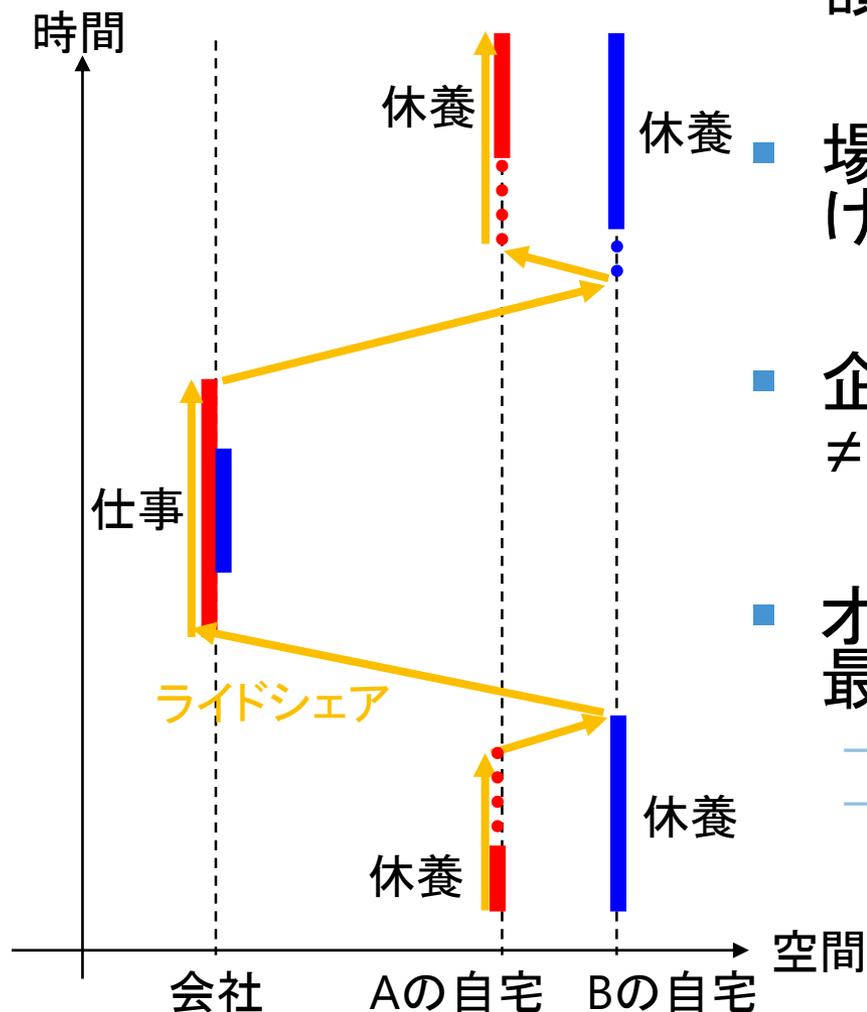
- 個人の行動に応じて最適な課金額は異なる

- 場合によっては利用者が金を受け取ることも

- 企業の利益最大化
≠ 社会の利益最大化

- オークションで価格を決めれば、最適な状態が自動的に実現*

- x線をx時に通過するにはx円
- ライドシェアでxからx'に移動するにはx円



*Akamatsu, T., Wada, K.: Tradable network permits: A new scheme for the most efficient use of network capacity, *Transportation Research Part C: Emerging Technologies*, 2017, 79, 178-195

Hara, Y., Hato, E.: A car sharing auction with temporal-spatial OD connection conditions, *Transportation Research Part B: Methodological*, 2017

- 自動運転は交通システムの様々な点の効率を良くするポテンシャルを持っている
 - Strategicレベル
 - Tacticalレベル
 - Operationalレベル
- 個別のサービスの効率を上げることはもちろん大事
- 異なるレベルのサービスを連携して効率を上げることも大事
- 社会全体が良い方向に向かうためのシステム設計も大事