

自動化走行技術が生み出す 新たな道路交通社会像

大口 敬

東京大学 生産技術研究所 教授



運転の自動化≡運転者の操作の省力化

- **パワートレイン**
 - 点火装置／オートチョーク／電子制御化 ↔ エンジン知識
 - シンクロ有無 ↔ ダブルクラッチ操作技術
 - 変速機MT/AT ↔ ギア比・トルクの感覚的知識, ノッキング
 - 低速フラットトルク化 → パワートレイン知識/意識の低下
- **操舵・操安置 (Active Safety Technologies) → Tactics Support**
 - ABS, TSC, ESC ↔ ブレーキ, アクセル, ハンドル操作技術, 意識
 - CC, ACC(高速→全車速→発進補助付), Pre-crash Safety (衝突被害軽減 Brake)
 - 車線逸脱防止 → 車線変更誘導!?・DSSS情報提供
- **走行計画 (Strategic Support)**
 - 電子地図 + GPS, DR位置・方向情報 ↔ 紙地図参照
 - +経路案内Car Navigation + 渋滞情報考慮

次世代モビリティ社会

1. 徹底的な『見える化』の推進: センサとデータ融合・推定
スリットの隙間から垣間見るような現状を憂う
地上センサ, 車両センサ, 携帯端末, 不足部分の推定, イベント検出
2. ETCの発展形: 応分な負担を公平に分配する仕組みへ
無料道路の幻想, 自動車関連税の曖昧さ, 電気自動車ただ乗り論
特急/普通, 繁忙/閑散期, 乗降自由, 重量と維持補修費, 一般税負担の限界
3. VICSの発展形: スマホナビ?, ウェアラブル化, シームレス化
ガイダンス, 誘導, コンシェルジュ等. 一般サービスの一つが経路案内
4. 交通を支えるインフラの刷新, 技術革新
メリハリのある街路構造, 利用者の利用の仕方, 分離と混在
標識不要?, 位置を知るには?, 信号不要?, 交通規制は...?
5. 運転の自動化: でもモビリティの楽しみは享受したい!
「いざ」頼り(衝突被害軽減B), **面倒なことはお任せ(渋滞前〜中ACC+)**
高齢者と子供(過疎/Zone30), 場所(専用路と混在空間)+状況による作動

運転者操作の省力化のメリット・デメリット

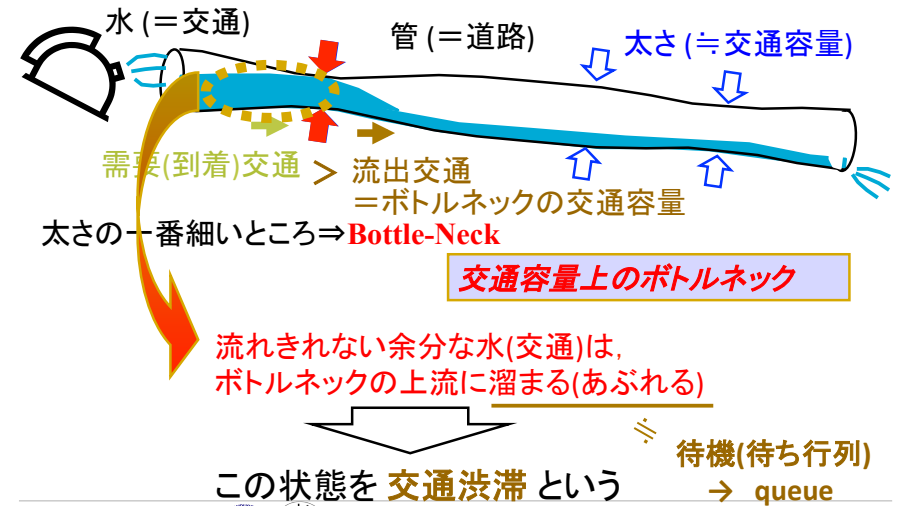
- **メリット**
 - 運転負荷の**低減**
 - **回避**: オーバーラン, スピン, コースアウト, 速度超過, トルク不足
 - 操作**単純化**: ダブルクラッチ+半クラッチ+アクセル+ハンドル...
 - 事前**準備簡単化**: 地図読み, 時間計画, 燃料補給計画...
- **デメリット**
 - 散漫, 慣れ, 飽き → 危険行動誘発 **Risk Homeostasis**・**不効率行動**
 - 速度超過傾向助長, 車線逸脱傾向, 急ブレーキ/加速/ハンドル
 - **サグ渋滞の増加**, 信号発進流低下, ...

運転の自動化(≒操作の省力化) による安全性向上

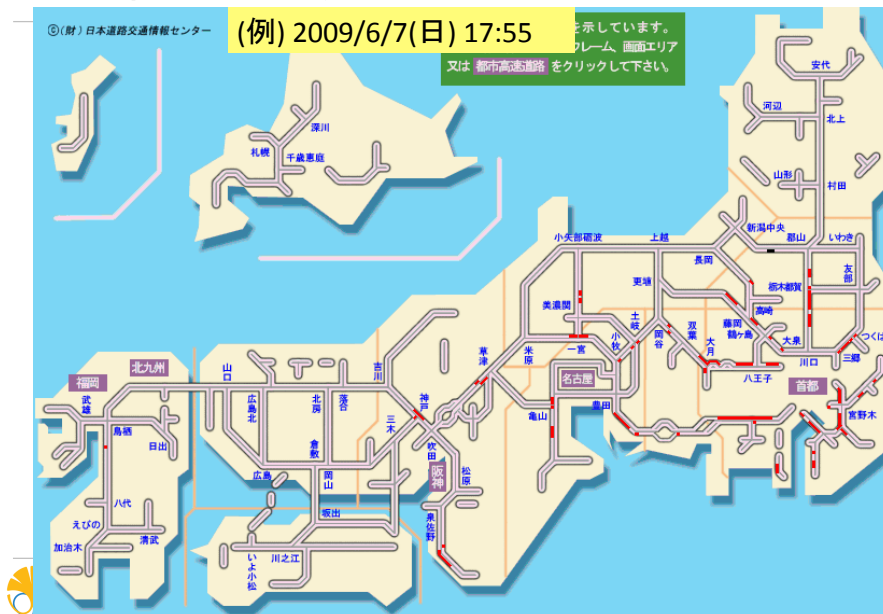
- ・【普及済】AT, ABS, パワーステアリング, ETC, カーナビ(w/VICS)
- ・【途上段階】TSC, ESC
- ・【導入段階】衝突被害軽減ブレーキ(PCS), 車線逸脱防止装置(LKA)
- ・(私案)シナリオ 《対策技術》
- ・歩行者/自転車巻き込み事故 → 一般道, 混在空間
- ・→ 《地域限定型自動速度抑制装置(ISA)》, 《歩行者検知・警報》
- ・閑散時や地方部での単独事故
- ・→ 《ABS+TSC+ESC, PCS, LKAなど》
- ・交差点追突・出会い頭・車両接触事故
- ・→ 《他車両検出技術→車車間通信?》
- ・高速道路追突・接触事故 → 低頻度高致死率 & 渋滞中超高頻度
- ・→ 《渋滞発生の抑制:日本ではACCが一つの有望解!?》

交通渋滞とは何か

ボトルネック (Bottleneck)



日本の高速道路: 交通渋滞の原因となるボトルネック



日本の高速道路: 交通渋滞の原因となるボトルネック



日本の高速道路: 交通渋滞の原因となるボトルネック

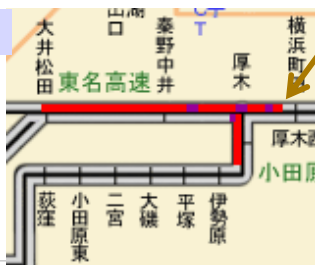
- 拡大: サグ区間

中央道



渋滞の先頭位置は
単路部に存在(分合流なし)

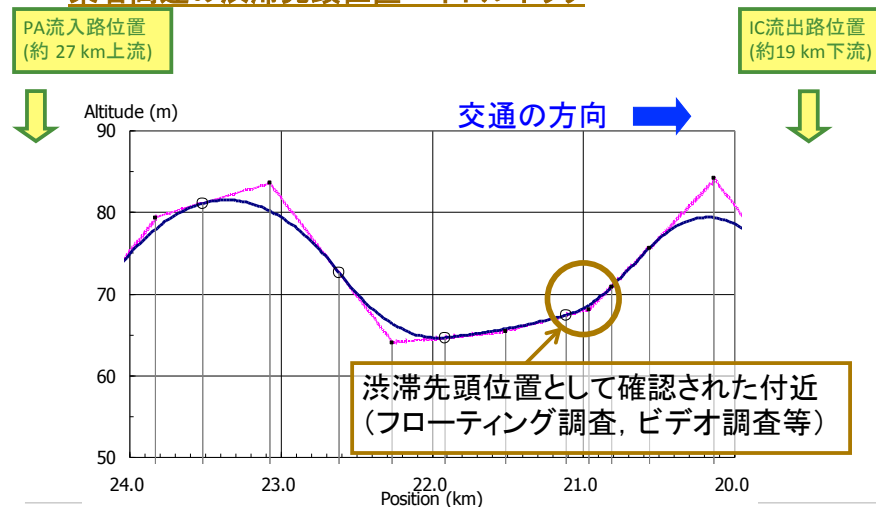
東名高速



13

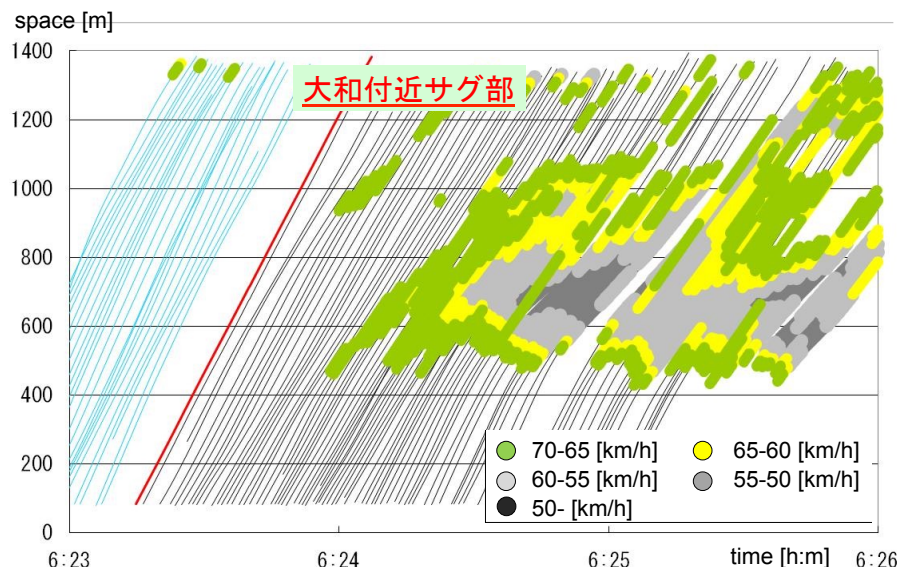
日本の高速道路: 交通渋滞の原因となるボトルネック

- 東名高速の渋滞先頭位置=ボトルネック



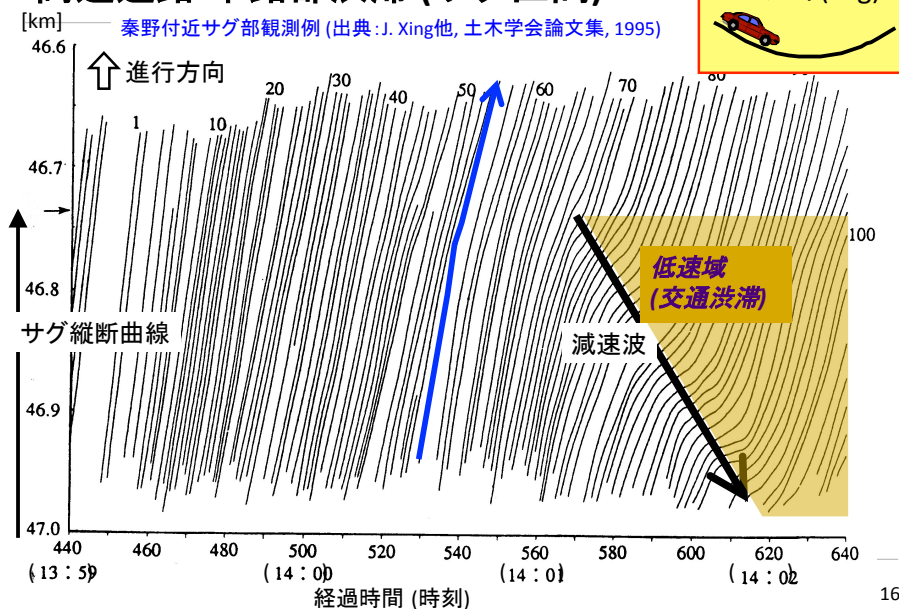
14

日本の高速道路: 交通渋滞の原因となるボトルネック



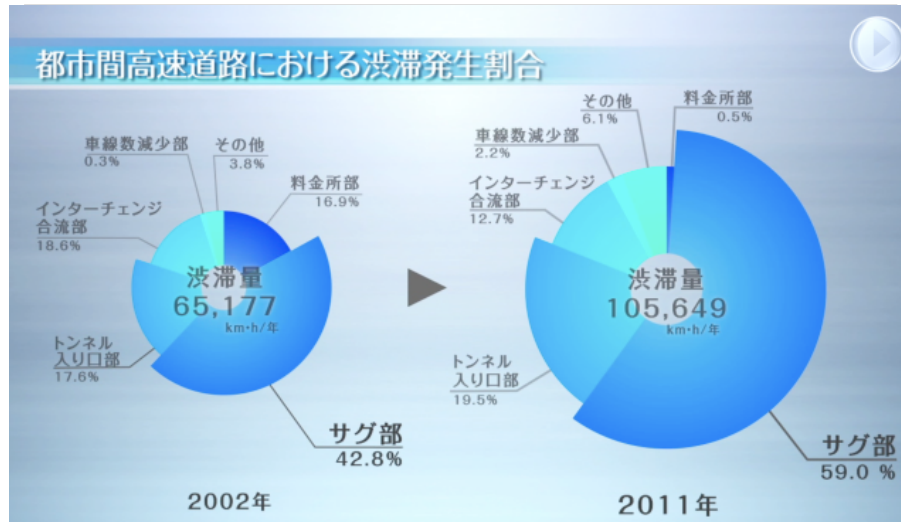
15

高速道路 単路部渋滞 (サグ区間)



16

高速道路の渋滞原因: サグ部6割, +トンネルで8割



※資料提供: 国土交通省

単路部ボトルネック(サグ/トンネル)渋滞

・渋滞対策の基本原則

- 交通需要の時空間分散
- ボトルネック交通容量の増大
 - ・「単路部」ボトルネックには、交通容量増大の余地はあるはず

・単路部ボトルネック交通容量の特性

■ 渋滞発生時交通容量

一般単路部交通容量の**8割**程度

渋滞ごとに大きく変動, 巨視的には確率的扱いが必要

微視的には**運転者挙動**(車線選択・追従挙動)の一般特性とその**個体差**(車両, 運転者)に影響

■ 渋滞後捌け交通容量

一般単路部交通容量の**6割**程度にまで低下

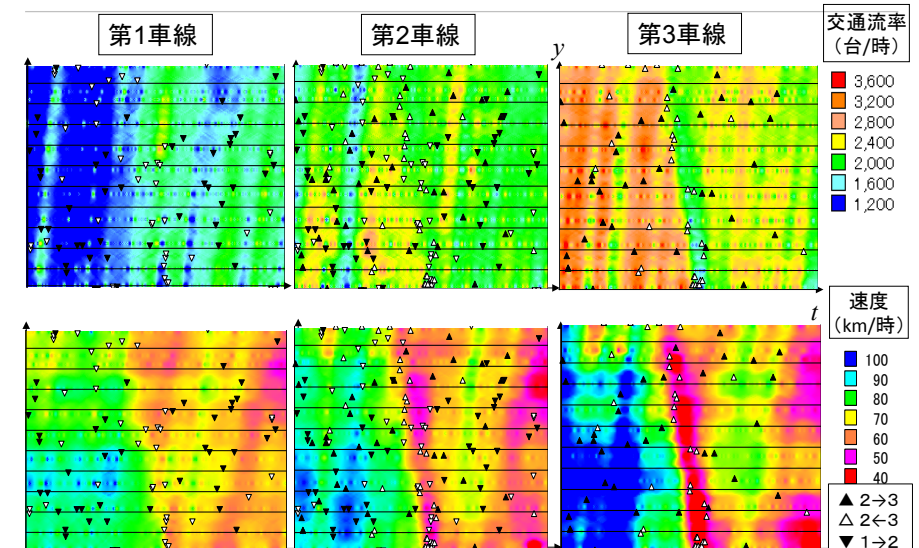
運転者の渋滞巻込まれによる**飽き・疲れ**に起因

この低下が渋滞継続時間など**渋滞損失の増大**を起こす

サグにおける渋滞発生メカニズム

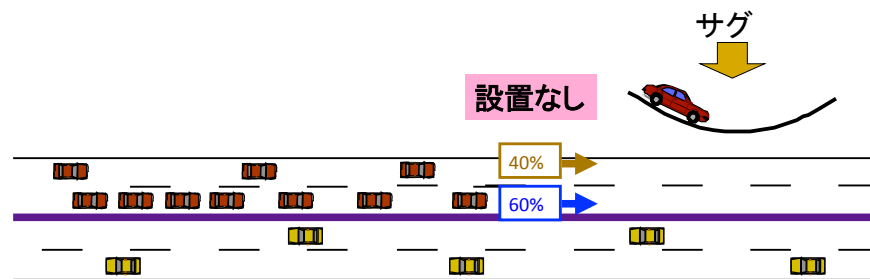
1. 交通需要増大
2. 内側車線利用偏在
3. 内側車線上車群形成
 - ー 相対低速・非追従車両
 - ー 相対高速・短車間追従車両
4. サグによる微小擾乱
5. 車群中**車頭時間増大波**上流増幅伝播
 - ー 車群中減速波上流増幅伝播[車両/運転者相違 → 確率的交通容量]
6. 継続的低速車列の形成
 - ー 車群末尾大Hwy低速車に後続車群が吸収
7. 勾配変化による緩慢増速(速度回復)挙動
 - ー 勾配(心理)による緩慢な増速(速度回復)挙動
8. サグ下流の増速区間固定化
 - ・ 渋滞先頭位置の固定化
9. 渋滞中走行の飽きと疲れによる更なる車頭時間増大

2-4 車線別・交通流率&速度の時空間変動と渋滞発生



車線運用 車線利用偏在 → 車線誘導方策

- ・ ボトルネック上流区間への付加車線設置

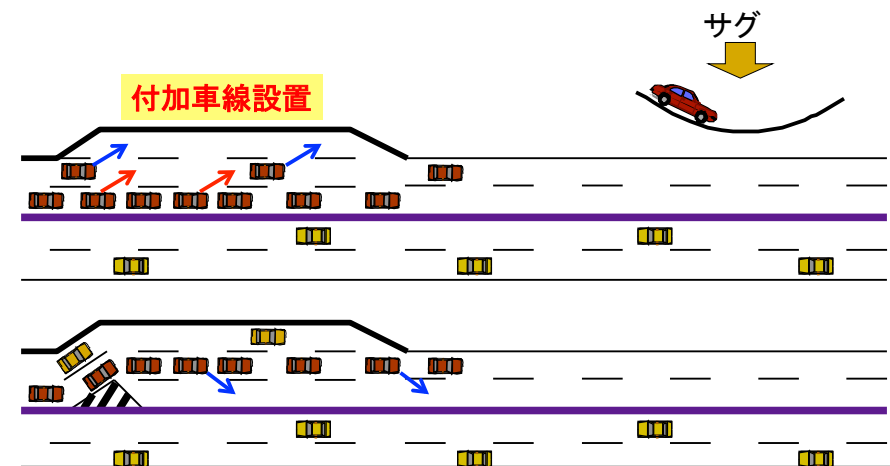


<オリジナル論文>

大口他: ボトルネック上流における車線利用率の矯正効果と付加車線設置形態, 交通工学, 36(1) pp.59-69, 2001.01.

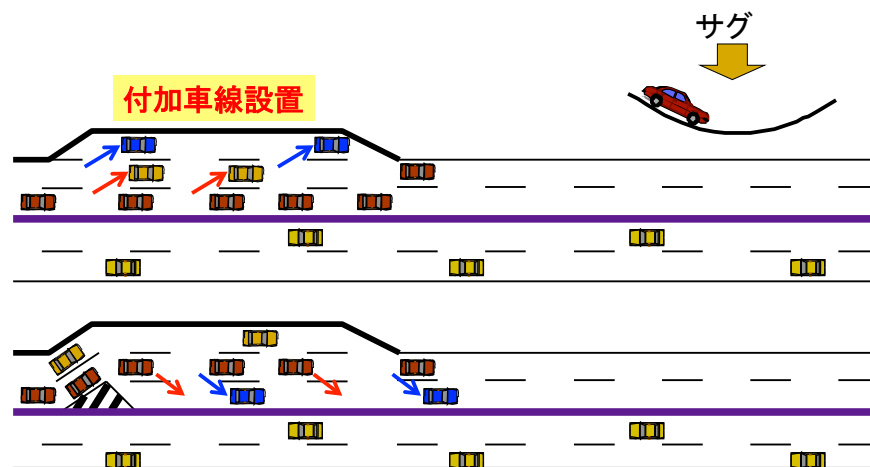
車線運用 車線利用偏在 → 車線誘導方策

- ボトルネック上流区間への付加車線設置



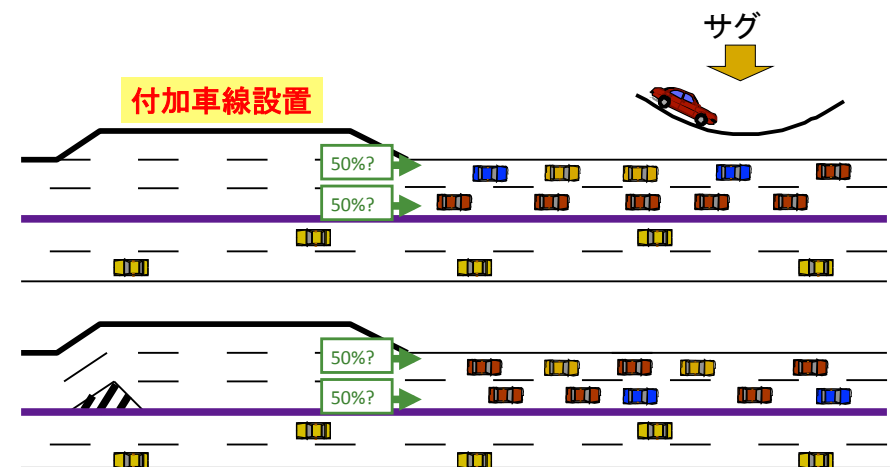
車線運用 車線利用偏在 → 車線誘導方策

- ボトルネック上流区間への付加車線設置



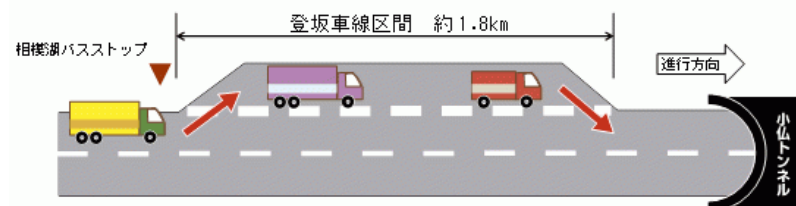
車線運用 車線利用偏在 → 車線誘導方策

- ボトルネック上流区間への付加車線設置



中央道上り・小仏トンネル 2012年3月～本格運用

■現在の車線運用「2車線+登坂車線」



■変更後の車線運用「3車線」



※2012年3月8日付NEXCO中日本広報資料より

<http://www.c-nexco.co.jp/news/2497.html>

柔軟な車線運用:改修工事中の狭小車線



動的車線運用:可変速度規制&路肩開放



東名高速道路 音羽蒲郡IC-豊田JCT間 3車線化



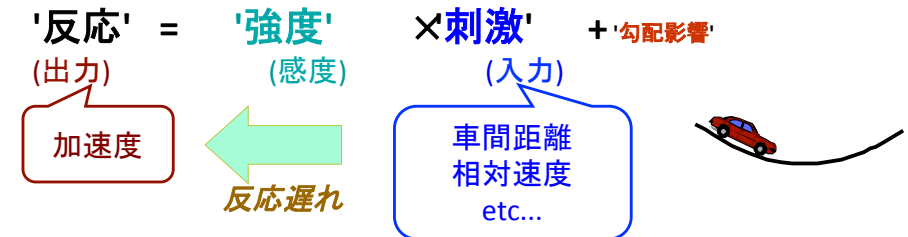
サグにおける渋滞発生メカニズム

1. 交通需要増大
2. 内側車線利用偏在
3. 内側車線上車群形成
 - 相対低速・非追従車両
 - 相対高速・短車間追従車両
4. サグによる微小擾乱
5. 車群中車頭時間増大波上流増幅伝播
 - 車群中減速波上流増幅伝播[車両/運転者相違 → 確率的交通容量]
6. 継続的低速車列の形成
 - 車群末尾大Hwy低速車に後続車群が吸収
7. 勾配変化による緩慢増速(速度回復)挙動
 - 勾配(心理)による緩慢な増速(速度回復)挙動
8. サグ下流の増速区間固定化
 - ・ 渋滞先頭位置の固定化
9. 渋滞中走行の飽きと疲れによる更なる車頭時間増大

追従挙動モデル – 認知と反応

- ・ 追従挙動の一般的なモデル化

心理/反応も考慮した
勾配影響モデル



個人差 と マクロな交通流特性の考慮

追従挙動のモデル化 – 個人差 と 交通流特性

- ・ 追従挙動モデル + 勾配変化影響モデル

$$\begin{cases} \ddot{x}_1(t+T) = \alpha(\dot{x}_0(t) - \dot{x}_1(t)) \\ \ddot{x}_1(t+T) = \alpha \frac{\{\dot{x}_1(t)\}^m}{\{x_0(t) - x_1(t)\}^l} (\dot{x}_0(t) - \dot{x}_1(t)) \\ \ddot{x}_1(t+T) = \frac{\alpha_1}{\{x_0(t) - x_1(t)\}^l} \{\dot{x}_0(t) - \dot{x}_1(t)\} \\ \quad + \frac{\alpha_2}{\{x_0(t) - x_1(t)\}^n} \{x_0(t) - x_1(t) - \beta\} \\ \vdots \end{cases}$$

$$\begin{cases} -\beta g \{\sin \theta(t) - \sin \theta_u\} \\ \beta = 0 \\ \beta = 1 \\ \beta : \text{constant} \\ \beta : \beta(t) \\ \vdots \end{cases}$$

既存モデル構造の比較検討



提案する複数モデル構造の比較検討



交通円滑化ACC

・ACCとは？

- ・ クルーズ・コントロールCCシステム：
 - ・ 米国での普及
- ・ アダプティブ・クルーズ・コントロールACCシステム：
 - ・ 自動追従，発進はマニュアル／全車速ACC
- ・ ACCによるサグ渋滞緩和実験demo
 - ・ in "ITS World Congress Tokyo 2013" (第20回ITS世界会議東京2013)
- ・ CACC (Cooperative Adaptive Cruise Control) システム：
 - ・ 複数車両間の車車間通信による自動追従
- ・ 国土交通省：オートパイロットシステム検討会
 - ・ その一つとして，ACCによる渋滞緩和・解消
 - (国総研+自動車メーカ 共同研究の取組み)

交通円滑化ACC

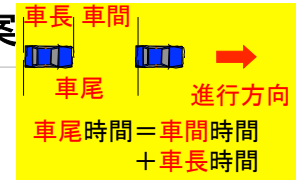
• 既存ACC車両(各自動車メーカーにより商品化されているもの)

- 各社とも全車種, 基本的な制御ロジックは同じで,
- 目標車間時間(Time Gap) G [s] を維持しようとする
- ※現実には味付けあり...
- 全車種に3セットの設定値が準備
- **L** (Long): G (approx.)= 2.2 – 2.4 [s]
- **M** (Middle): G (approx.)= 1.8 [s]
- **S** (Short): G (approx.)= 1.3 [s]
- ACCシステムからの出力は;
 - "スロットル開度" または "ブレーキ操作圧力"

交通円滑化ACC+ 1. 新ロジック提案

• 既存の市販 ACC

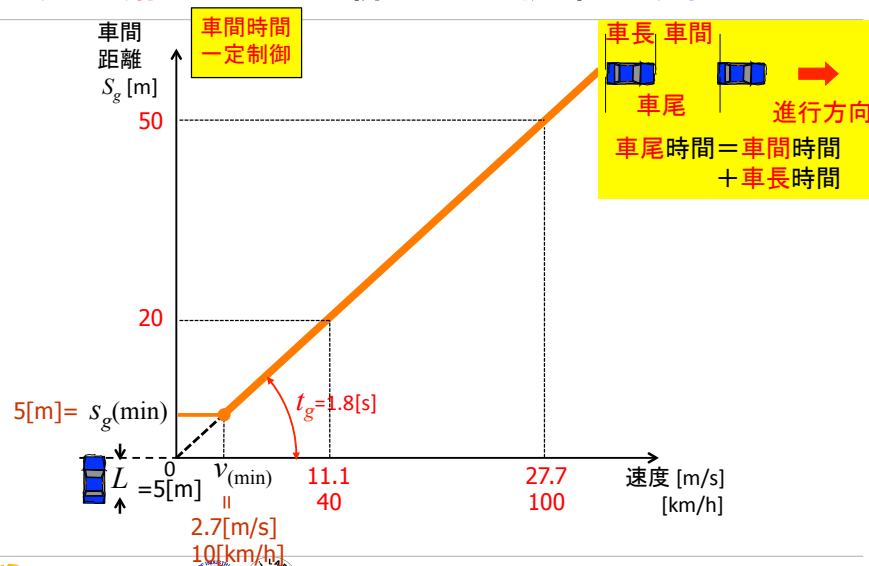
- 制御ロジックは「**車間時間一定**」
 - **円滑性** の観点からは,
 - 速度低下すると **車尾時間が增大する** (=交通流率の低下)
 - **安全性** の観点からは, ACCは **安全車間** を維持しようとする



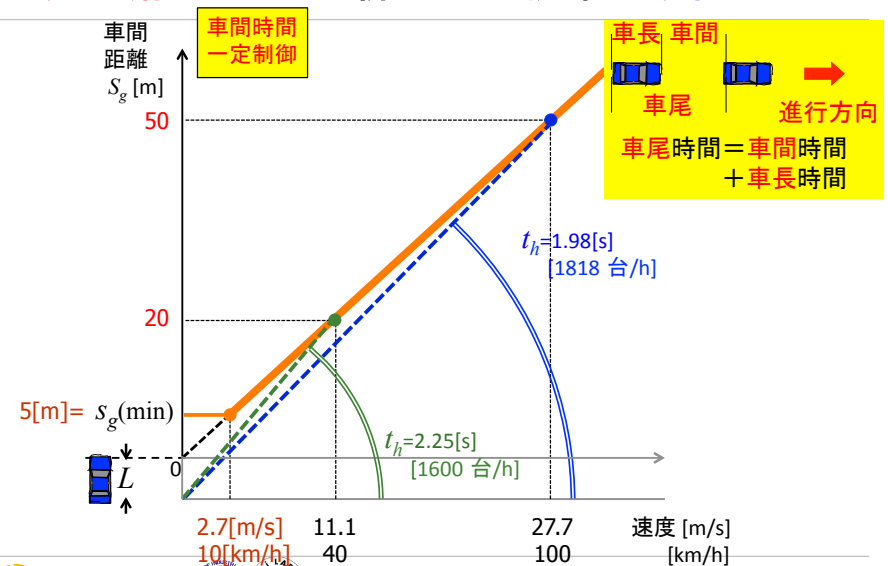
• 新しいACCアルゴリズムの提案

- 制御ロジック:「**車間時間を減速に応じ低減**」(車尾時間一定に維持)
 - **円滑性** 観点では, 交通流率(車尾時間の逆数)は **低下しない**
 - **安全性** の観点からは,
 - 速度低下すると **車間時間も減少する**.
 - **最小車間時間** (又は速度)を設定しておき, これを下回る時は ACCによる自動追従制御をやめる.
 - → **衝突被害低減ブレーキ機能** への切替え
- (+)過渡応答性能設計が必要

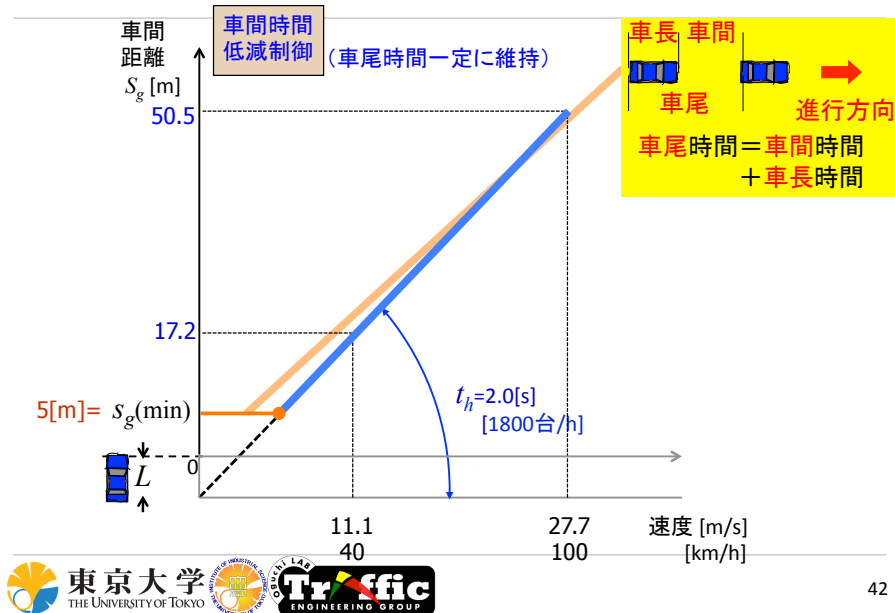
交通円滑化ACC+ 1. 新ロジック提案 – 既存ロジック



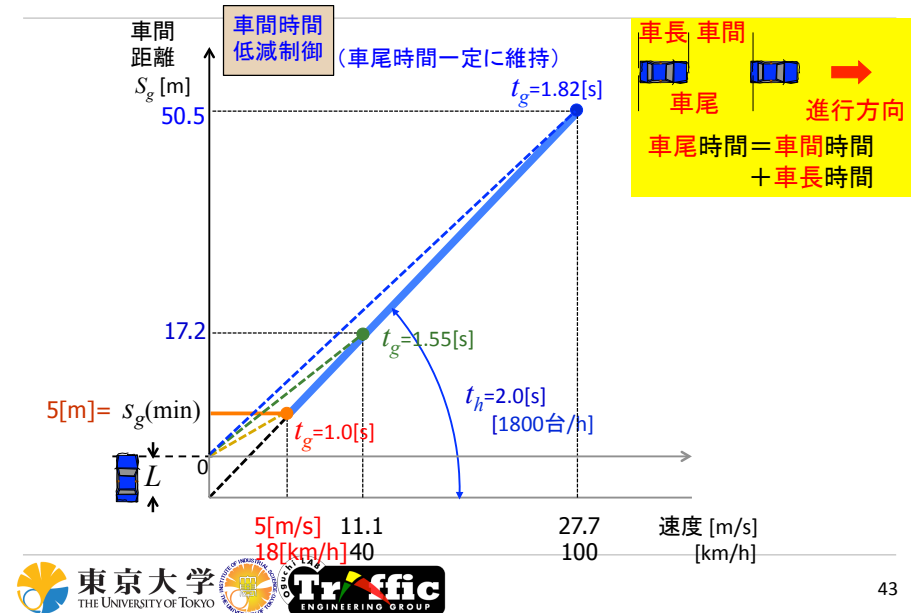
交通円滑化ACC+ 1. 新ロジック提案 – 既存ロジック



交通円滑化ACC+ 1. 新ロジック提案 – 提案ロジック

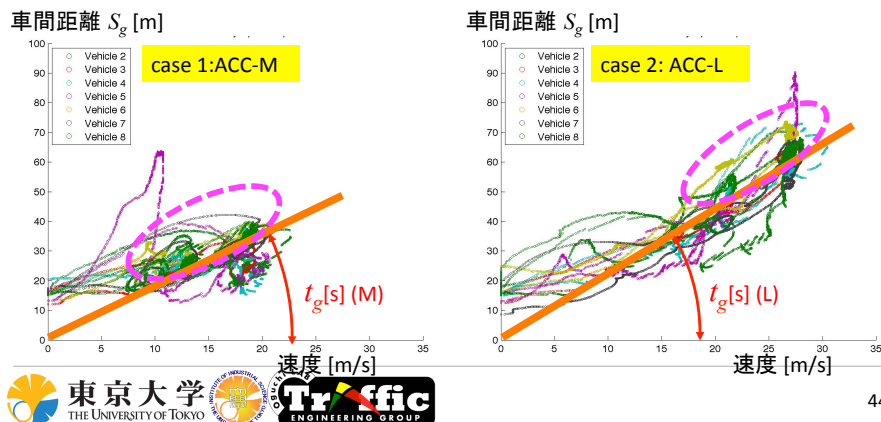


交通円滑化ACC+ 1. 新ロジック提案 – 提案ロジック



交通円滑化ACC+ 2. 過渡応答性能設計の必要性

- 一時的な車頭時間の増大を防ぐ必要がある: 「過渡応答性能」
- (= 一時的な交通流率の低下)
- たとえ提案する新しい制御ロジックが採用されたとしても,
- ACC制御器のパラメータを変更する必要がある



自動化⇄省力化: 安全・効率的な社会の実現へ向けて

- 導入へ向けた3つのシナリオ (個人的な私案)

- 高速道路ACC+ → 渋滞の軽減⇄事故件数の削減
サグ渋滞が高速道路渋滞の7割(トンネルで8割)
← 高密度交通, 長いIC間隔, 相対的に低いボトルネック容量
週末渋滞発生⇄事故発生(渋滞末尾追突&渋滞中追突/接触)
渋滞箇所 で 渋滞発生直前状態をモニタリング[路]→[車]ACC+をON→解除
- 『ゾーン30』への自動速度抑制システム
ISA (Intelligent Speed Adaptation)思想のピンポイント導入
歩転車共存・混在空間におけるリスク低減[←→ 分離/円滑化: 交通性能]
← ゾーン30指定区間とそれ以外の街路空間設計の差別化, 階層化
- いなか! : 過疎超高齢化地区の「自動システム」先行導入
「足」の確保, システム利用限定免許, 新しいモビリティシステム導入(PMV等)
案: 動的操作系自動化・イベント判断(始終/分岐/停止)は人も介在
← 技術SHOWCASE, インフラ要件確認, 制度設計(保険, 発災時対応)

課題:11月11日大口担当分

以下の2項目について, 全体でA4用紙片面1枚以内で, 記述せよ.

- 表紙不要・1枚目の上部に「科類、学籍番号、氏名、選択した講義タイトル&担当教員名を明記」
- 締切:12月22日17:00、提出方法:教務課レポートボックスに提出

1. 日本における高速道路で発生する交通渋滞の特徴について, あなたが本講義で理解したことを簡単に整理して論ぜよ.
2. 自動車の様々な自動化の段階の中で, 現在, 社会から必要とされていて, かつ, そのニーズや効果が期待され, また, 技術的, 社会的に十分に実現性が高い, と考えられるのはどのような技術であると, あなたは考えるか. その理由も付して論ぜよ.