

# 交差点角度に着目した道路整備計画-自動運転時代を見据えて-

野口宇宙・小林隆史・大澤義明

## Road improvement plan focused on intersection angle

-Toward the era of autonomous car-

Takahiro NOGUCHI, Takafumi KOBAYASHI and Yoshiaki OHSAWA

**Abstract:** In this research, we consider that traveling speed focused on intersections. By researching on the car tracks around intersections in which cars speeding down constantly, we discuss the optimization of car tracks around intersections in order to examine the effects on travel speed. Development of autonomous vehicle technology makes it possible to communicate between road-vehicle and vehicle-vehicle, and in the case of no oncoming vehicle, we can ignore the lane and use the entire road width because the communication can inform the presence of oncoming vehicles. And with that, the radius of curvature drawn by car tracks in curve or intersection will become larger, which means the travel speed will increase as the radius increasing. And we also research traveling speed focused on road network of representative transportation by time sequencing.

**Keywords:** 格子状道路 (gridiron road), 交差点角度 (intersection angle), 自動運転 (autonomous)

### 1. はじめに

#### 1.1 背景

自動車による交通環境の向上を考える場合、人口減少の激しい地方部では、新規道路の敷設や既存道路の拡幅は現実的ではない。一方で自動車にはレーダー (RADAR) やライダー (LIDAR) などのセンサーが付加され、通信機器が搭載されるなど日々進化している。

車々間通信が普及することで安全が確保される自動運転時代では、車線レーンという物理的制約にとらわれることなく、反対車線も含めた道路幅員をフル活用して走行できる。また、他車と動線がかぶらない場合、停止する必要がなく多少の減速だけで右左折する円滑な運転が可能となる。現状のように信号機での停止が多い場合には、交

差点角度の影響は少ないが、自動運転時代では影響は大きくなる。さらに、狭い道路で威力を発揮する小型モビリティが浸透することにより、減速の機会はさらに減る。

本研究では第一に、交差点角度と自動車が曲がることのできる曲率半径との関係から、交差点角度と移動速度との関係を導く。次に、筑波研究学園都市を例として時代の変遷による交差点走行速度の移り変わりを考察する。

#### 1.2 分析方法

本研究では、2.1節において交差点の定義を行い、2.2節において交差点内で右左折する自動車が描く軌跡の曲率半径を計算する。2.3節において曲率半径から自動車の交差点走行上限速度を求める。また、3章では筑波研究学園都市における道路敷設年代に着目して交差点走行速度を導出し、考察する。

---

野口宇宙

所属 筑波大学未来社会工学開発研究センター

E-mail noguchi@f-mirai.tsukuba.ac.jp

## 2. 交角と右左折速度

### 2.1 交差点と走行軌跡の定義

本研究では、交差点角度 $\theta$ [radian]、車両幅員 $b$ [m]、道路幅員 $w, u$ [m] ( $w \leq u$ )、車両幅員に対する道路の倍率を $\alpha, \beta$  ( $1 \leq \alpha \leq \beta$ )、つまり道路幅員 $w = \alpha b, u = \beta b$ [m]として交差点を定義する(図1)。

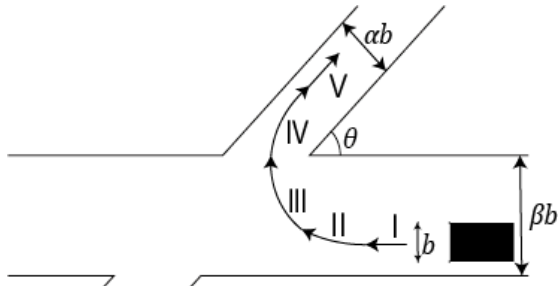


図-1 交差点の定義と各変数

ここで、自動車が右左折する際に交差点前後にて描く軌跡は図1に示すように、I直線→IIクロソイド曲線→III曲線→IVクロソイド曲線→V直線、となるのが一般的であり、本研究においては曲率半径が最小となり、スピードを最も落とさなければならぬIII曲線に着目する。

### 2.2 交角と曲率半径

一定の曲率半径、幅員においてカーブを走行可能かどうかは「図2における $r - D$ が車両幅員 $b$ 以上である」に帰着する。

図2において、

$$b \leq r - D$$

$$= r - \sqrt{(r - w)^2 + \left\{ \left( r \tan \frac{\theta}{2} \right) - \frac{u - w \cos \theta}{\sin \theta} \right\}^2}$$

ここで、 $b = r - D$ として $r$ について2次方程式を解くと、走行可能な最大幅員 $r^*$ は

$$r^* = \left\{ \alpha - 1 + \frac{\beta - \cos \theta}{\sin \theta} \tan \left( \frac{\theta}{2} \right) \right.$$

$$+ \sqrt{(1 - \alpha)^2 - 2(1 - \alpha) \frac{\beta - \cos \theta}{\sin \theta} \tan \left( \frac{\theta}{2} \right) - (\alpha^2 - 1) \tan^2 \frac{\theta}{2}} \right.$$

$$\left. / \left\{ b \tan^2 \left( \frac{\theta}{2} \right) \right\} \right.$$

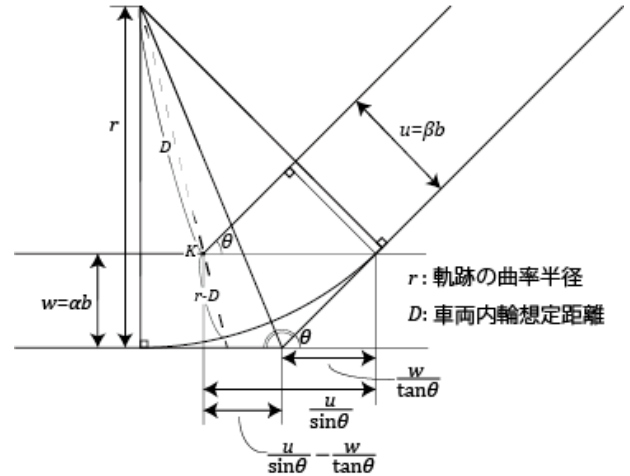


図-2 曲率半径の導出図

### 2.3 曲率半径と速度

本節では、道路構造令における設計速度と曲率半径最低基準の表より、曲率半径と速度の関係を導出する。道路構造令第十五条において、図3の点のように道路を敷設する際の設計速度に対する曲率半径最低基準が定められている。また、この設計速度を $v$ 、曲率半径を $r$ とすると、最小二乗法より $v = 6.95r^{0.45}$ が近似される。図3内に近似曲線を示す。

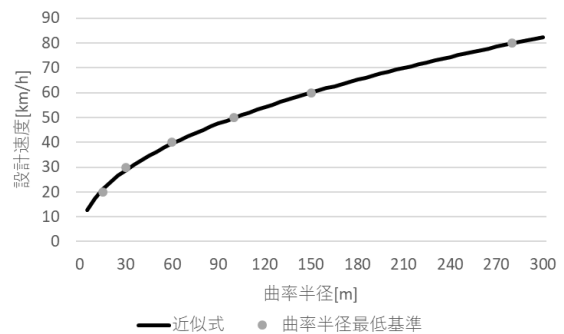


図-3 設計速度と曲率半径最低基準

### 2.4 交角と速度

2.2節で得られた $\theta, \alpha, \beta$ に対する曲率半径 $r$ に対して2.3節で導出された式を用いることで、速度との関係性が以下のように表せる。

$$v(\theta, \alpha, \beta) = 6.95 * \left[ \left\{ \alpha - 1 + \frac{\beta - \cos \theta}{\sin \theta} \tan \left( \frac{\theta}{2} \right) \right. \right.$$

$$+ \sqrt{(1 - \alpha)^2 - 2(1 - \alpha) \frac{\beta - \cos \theta}{\sin \theta} \tan \left( \frac{\theta}{2} \right) - (\alpha^2 - 1) \tan^2 \frac{\theta}{2}} \right.$$

$$\left. / \left\{ b \tan^2 \left( \frac{\theta}{2} \right) \right\} \right]^{0.45}$$

この結果得られる、交差角と走行可能速度の関係式の一例を図4に示す。

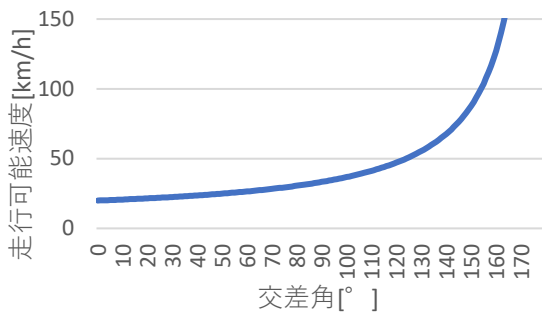


図-4  $b = 2, \alpha = \beta = 6$ における交差角と走行可能速度の関係

## 2.5 交差点の評価

本節では直線同士の交差点について考察する。例えば、直線同士が $\theta$ で交差する交差点では $v(\theta)$ と $v(\pi - \theta)$ の右左折が発生する。右左折割合が等確率であれば、右左折平均速度は $\frac{1}{2}\{v(\theta) + v(\pi - \theta)\}$ と表すことができ、 $v(\theta)$ の凸性より

$$\frac{1}{2}\{v(\theta) + v(\pi - \theta)\} \geq v\left(\frac{\pi}{2}\right)$$

であるため、道路同士は直交するよりも、斜めで交わる方が優れていることが判明した。

## 2.6 本章のまとめ

本章では、交差点に着目し、交差角と車両幅員、道路幅員を変数としてカーブを曲がれる最大曲率半径を導出した。また、道路構造令に用いられている設計速度と曲率半径の関係性より、交差点における最大走行可能速度の導出方法を示した。また、直線の道路同士が交差する場合には、直交しない方が最大走行可能速度は大きくなることを明らかにした。

## 3. 筑波研究学園都市

### 3.1 学園都市の成り立ちと道路網

本章では、2章における交差角、道路幅員、速度の関係より、筑波研究学園都市(以下、学園都市)における交差点走行速度の変遷を考察する。そこで、まず学園都市の大まかな歴史を解説する。学園都市建設は1963年に閣議決定され、それ以

前は関東平野の一部として田畑や森林の広がる農村地帯であった。学園都市の建設から15年ほど経過した1980年にはすべての機関の移転が完了するとともに都市機能の整備が進められた。また、1985年には国際科学技術博覧会も行われたことで、学園都市全体として商業施設や交通機関の拡充が図られ、そして2005年にはつくばエクスプレスの開通により、研究学園駅、万博記念公園駅、みどりの駅の周辺において大規模な宅地開発が進み現在に至っている。現在の道路網の元データとして国土交通省国土地理院が作成している数値地図より道路中心線データ(2018/12/13最終更新)を利用し、敷設年代を推定するために国土交通省国土地理院発行の5万分の1地形図・土浦(1960年, 1979年, 1998年発行)および地理院地図(電子国土WEB)を用いて差分を判別し、図5に一部を示す。図5における南西地域がつくばエクスプレスによって新しく都市が形成された地区で、1979年には現在の学園都市中心部の道路網が完成していたことが伺える。なお、過去における道路網が飛んでいたり盲腸線のようになっていたりするのは、区画整理による影響などによって当時の道路網データが上書きされていしまっており、元にした道路網データにデータが入っていないためである。

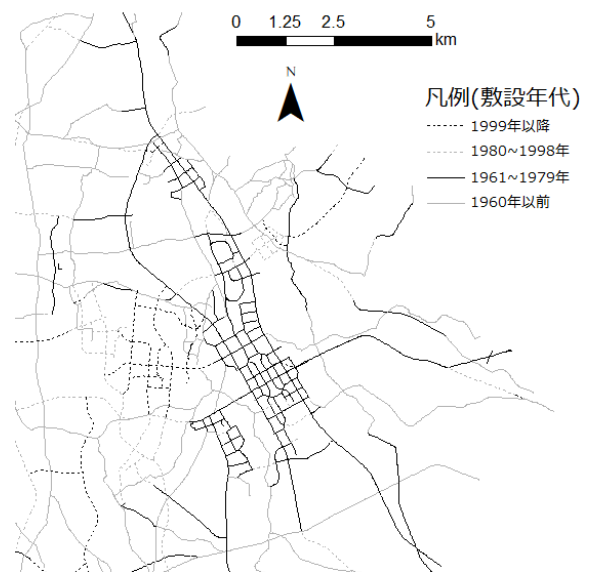


図-5 筑波研究学園都市の敷設年別道路

### 3.2 データ集計

交差点における道路同士が成す角について、それぞれの道路の敷設年代に着目する。例えば図6において、丸付き数字を敷設年代、 $\alpha \sim \delta$ を成す角とすると、直進及び右左折における組み合わせは ${}_4C_2 = 6$ 通りあり、直進(①①:  $\alpha + \beta$ )、擬直進(②③:  $\beta + \gamma$ )、右左折(①②:  $\gamma, \delta$ , ①③:  $\alpha, \beta$ )である。本研究では、この成す角に道路幅員を考慮することで交差点走行速度を導出する。また、対象とした交差点は図5の地図において信号のある四差路157箇所である。

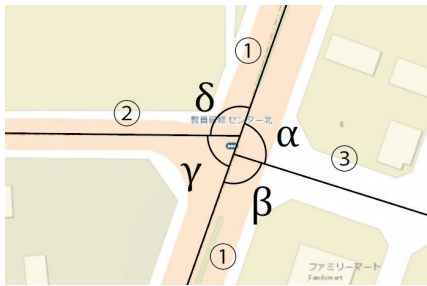


図-6 交差点における成す角の考え方

### 3.3 考察

学園都市における道路の敷設年代別の交差点走行速度の分布図を図7に示す。1960年以前の道路と交わる道路については走行速度が小さくなっており、旧道の道路幅員が小さいためであると考えられる。道路幅員が大きく、交差角度が直角ではない場合に走行速度が大きくなるが、新道は道路幅員が大きく直交する場合が多いため、走行速度の変化が小さかった。

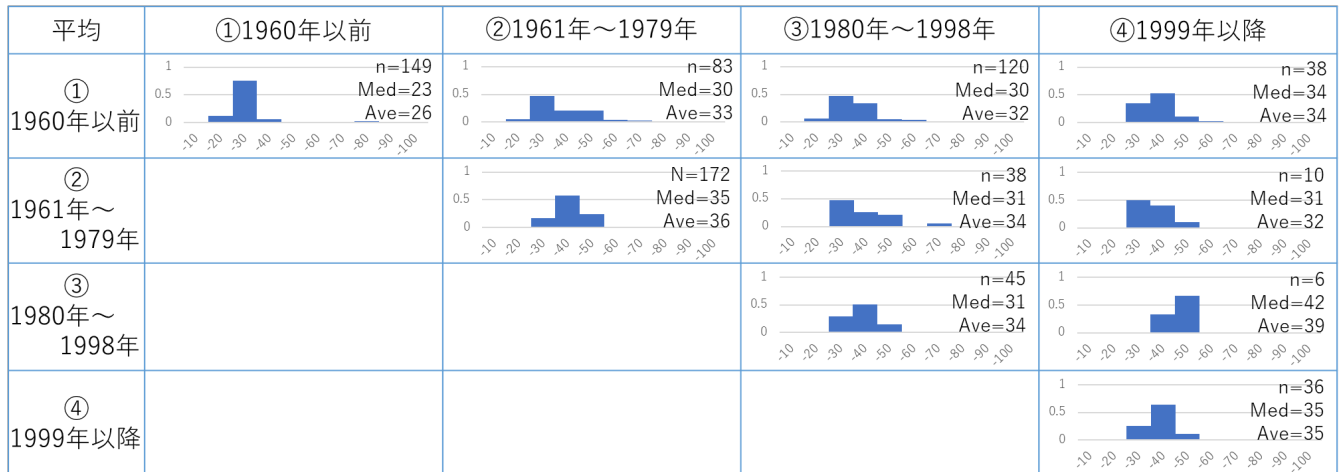


図-7 交差点における成す角の考え方

### 4. 結論

本研究では、車線レーンにとらわれず道路幅員をフル活用する場合の交差点走行速度について、交差角、道路幅員を変数として導出した。土地区画整序に優れている格子状道路網では、走行可能速度は却って小さくなることが示される一方で、直交ではない交差点では、周辺の土地に変形したものが現れ有効活用しづらくなる点もあげられる。

また、実都市として筑波研究学園都市を例に出して交差点走行可能速度の変遷を示した。計画都市として建設された学園都市では、旧道と新道の道路幅員および交差角の大小による非優位性が見えづらいたことが判明した。

### 謝辞

本研究の一部はトヨタ自動車と筑波大学社会工学域との共同研究「次世代社会システムとモビリティの新価値研究」の一環で実施した。

### 参考文献

- 社団法人日本道路協会, 1983. 「道路構造令の解説と運用」, 日本道路協会
- 覚知 昇一, 吉川 徹, 中林 一樹, 2007. 道路狭隘地域における隅切りの設置と小型消防車両の導入による旋回可能性の改善効果に関する基礎的考察. 日本建築学会計画系論文集, 619, 125-132