

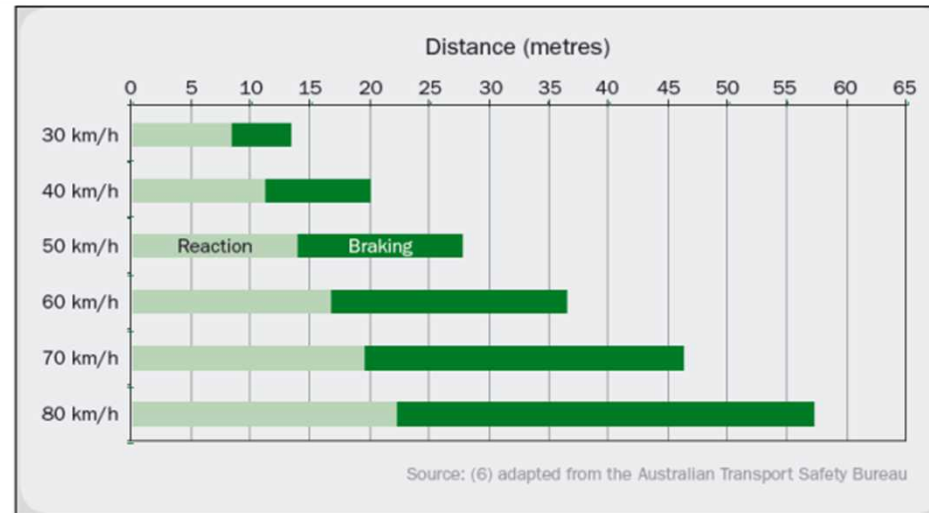
速度による制動現象の差異と 速度による事故発生傾向の差異について

公益財団法人交通事故総合分析センター
研究部次長 田久保 宣晃



交通安全関連資料に掲載される停止距離の例

速度による停止距離



※ Speed management – A road safety manual for decision-makers and practitioners – より
警察庁資料
https://www.npa.go.jp/koutsuu/kikaku/regulation_wg/teigen/siryou2.pdf

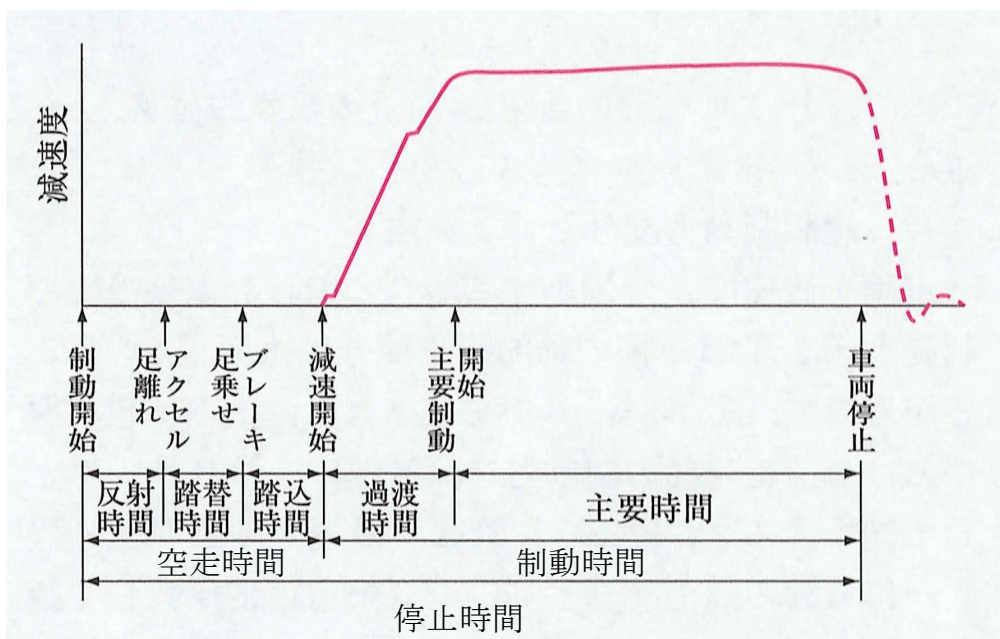
停止・空走・制動距離とは またその影響要因は

制動とはどのような現象か

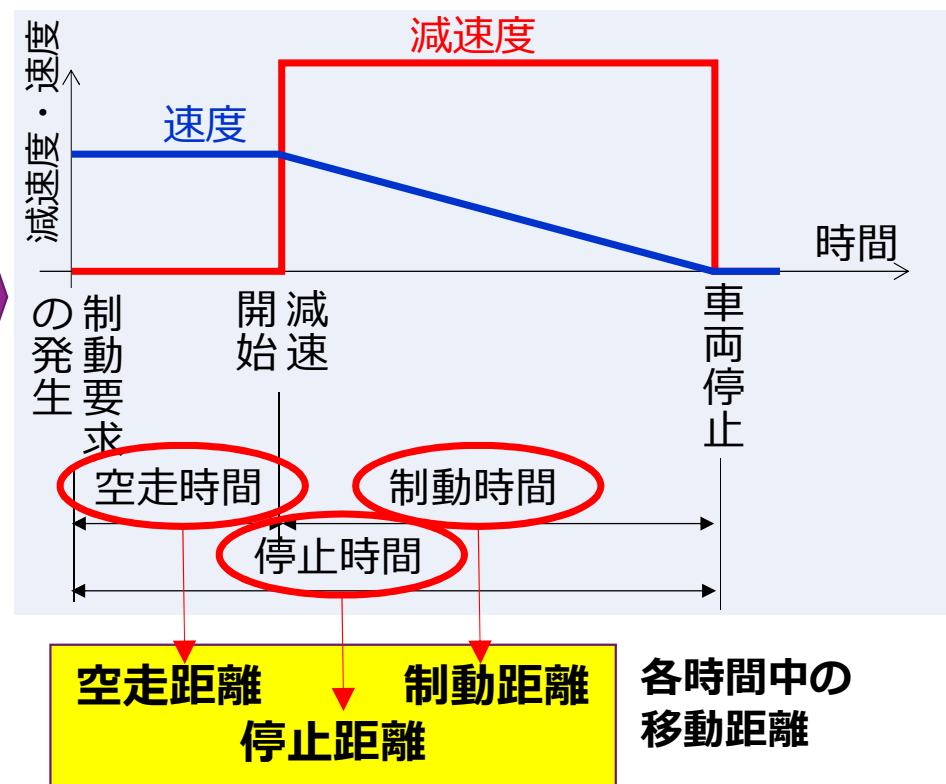
制動現象

自動車工学的：タイヤ（ゴム）と路面（アスファルト等）の間の摩擦力による車両運動状態の変化

交通安全関連：運転者の反応や踏み込み行動まで広く含む



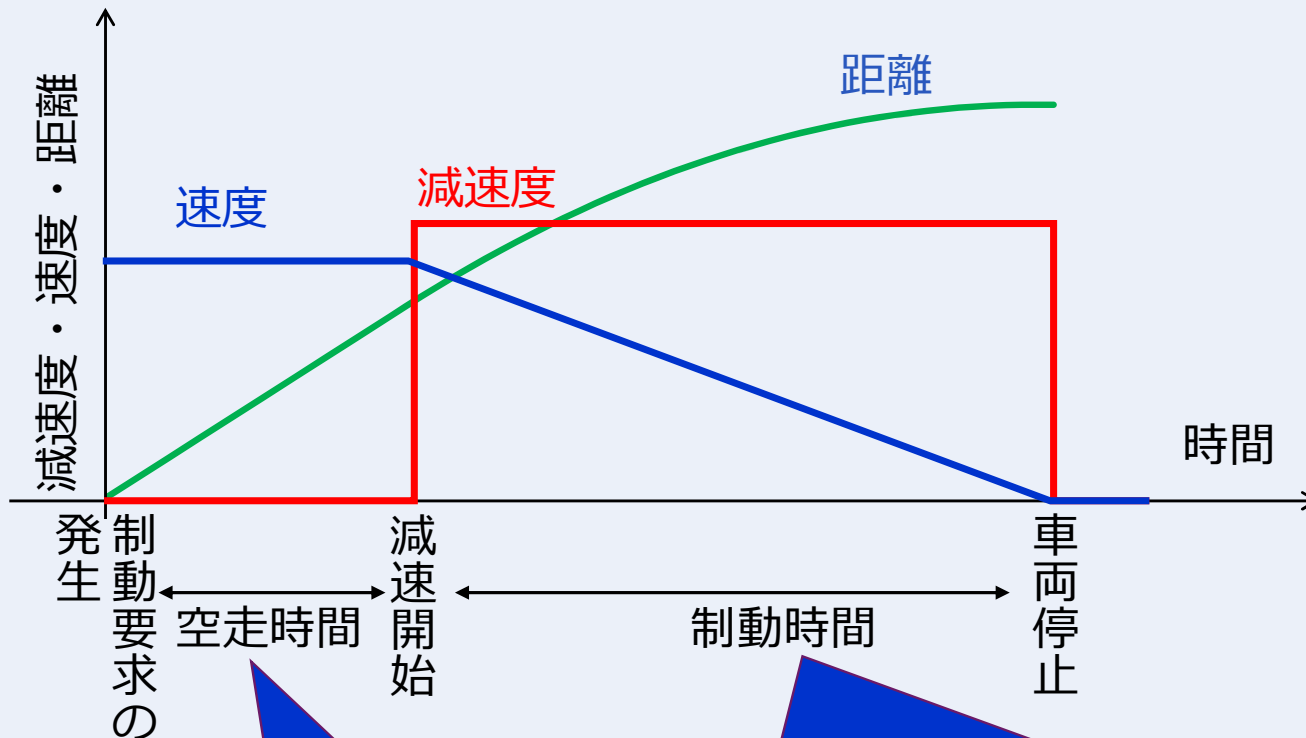
単純化



交通安全関連で用いられる停止距離

自動車技術会：自動車技術ハンドブック（1）
基礎理論編 第6章p165図6-1を加工

空走距離と制動距離の算出



※制動距離の算出原理

速度 V の車両（質量 m ）の有する運動エネルギー

$$\frac{1}{2}mV^2$$

車両（質量 m ）が制動のため摩擦係数 μ で距離 S を移動する際の摩擦エネルギーは
 $m\mu gS$ （ g :重力加速度）

減速により運動エネルギーがすべて摩擦エネルギーで消費されて停止する場合、両者は等しく

$$\frac{1}{2}mV^2 = m\mu gS$$

これを変形し

$$S = \frac{V^2}{2\mu g}$$

空走距離
= 初速度×空走時間
【速度に比例】
【空走時間に比例】

制動距離
= $0.5 \times \text{初速度の二乗} \div (\text{摩擦係数} \times \text{重力加速度})$
【速度の二乗に比例】
【摩擦係数に反比例】
= 初速度×制動時間 - $0.5 \times \text{摩擦係数} \times \text{重力加速度} \times \text{制動時間の二乗}$ ・・・（異なる計算式）

空走距離と制動距離の算出例

空走距離

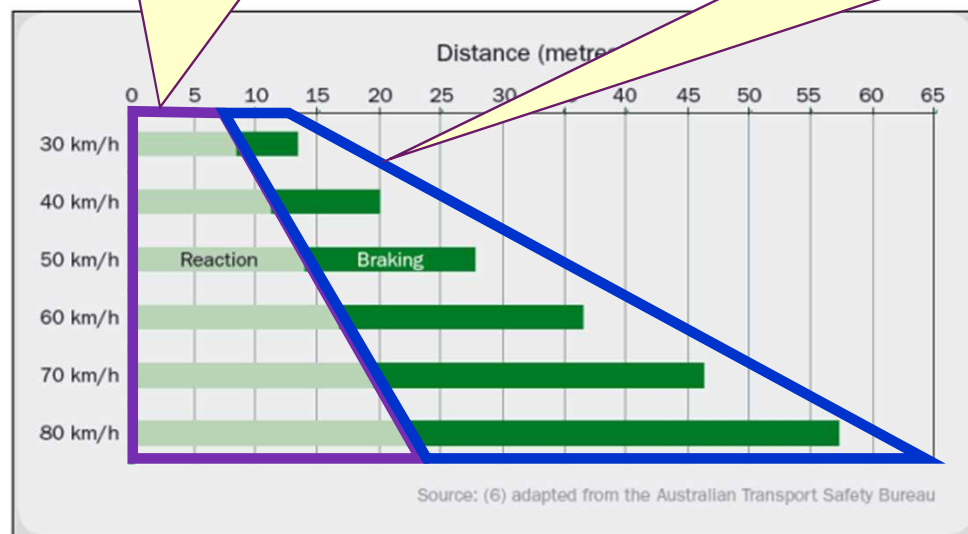
【速度に比例する部分】

「空走時間」で変化

制動距離

【速度の二乗に比例する部分】

「減速度（摩擦係数）」で変化



※ Speed management – A road safety manual for decision-makers and practitioners – より

時速 (km/h)	秒速 (m/s)	空走距離(m)	制動距離(m)	停止 距離(m)	制動 時間(秒)
		空走時間を 1.0秒として算出	摩擦係数を 0.7として算出		
30	8.3	8.3	5.1	13.4	1.21
40	11.1	11.1	9.0	20.1	1.62
50	13.9	13.9	14.0	27.9	2.02
60	16.7	16.7	20.2	36.9	2.43
70	19.4	19.4	27.5	47.0	2.83
80	22.2	22.2	36.0	58.2	3.24

※速度が2倍（30km/h→60km/h）に対して
空走距離は2倍（8.3m→16.7m）
制動距離は2²すなわち4倍（5.1m→20.2m）

反応時間（空走時間）

諸条件によって異なる値がみられるが、よく用いられている値としては、

- 1.0秒：Speed Management* で採用されている値
- 0.75、0.8秒：交通事故解析分野で採用されている代表値
- 0.8秒：JIS D0802（高度道路交通システム－前方車両衝突警報システム－性能要求事項及び試験方法）の設定値

*Speed Management：2006年にOECD/ECMT (European Conference of Ministers of Transport)発行の走行速度管理に関する報告書

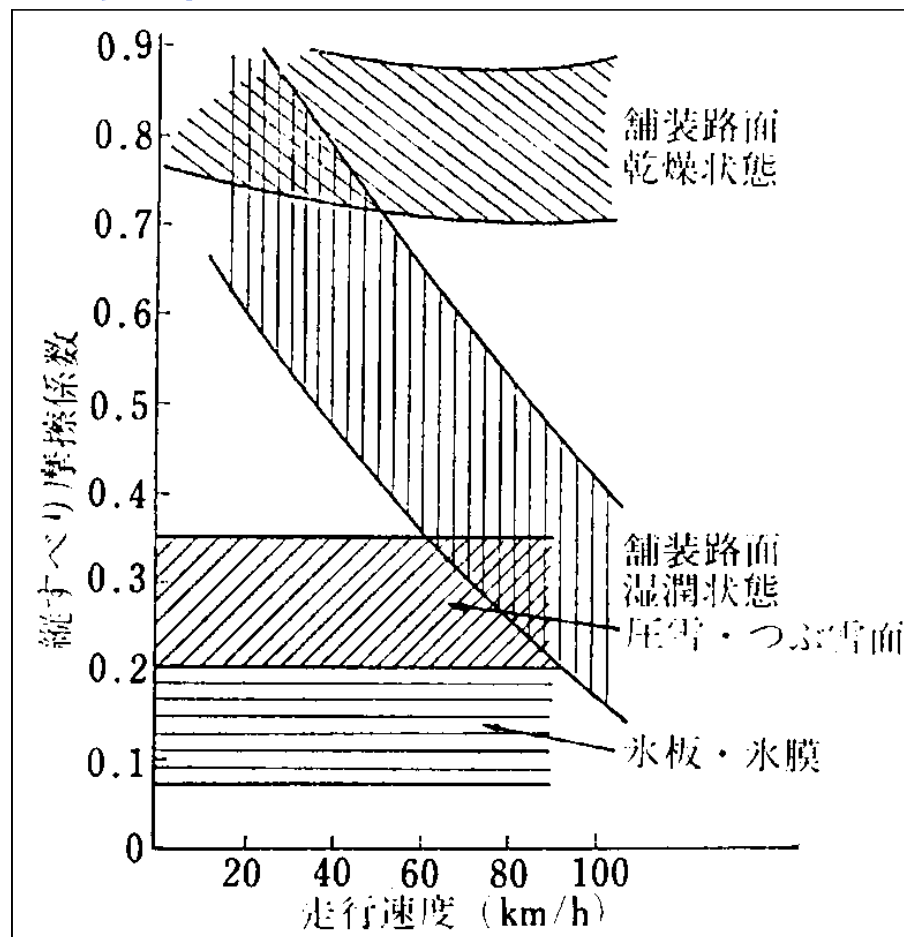
*Speed management: a road safety manual for decision-makers and practitioners：2008年にWHO/GRSP (Global Road Safety Partnership) 発行の同上を引用した類似内容の報告書

摩擦係数

様々な要因により摩擦係数は変化

(要因の例)

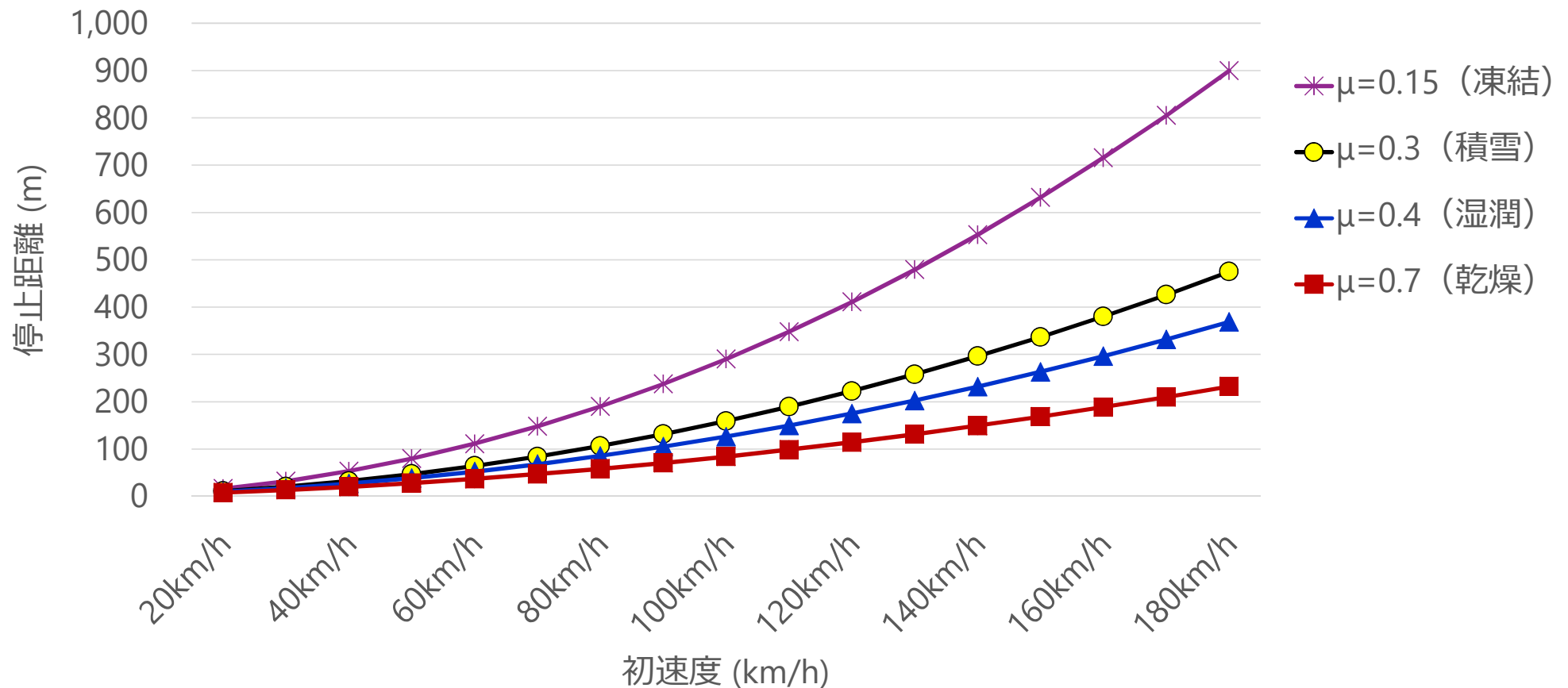
- 路面の状態（乾湿等） ➡
- 路面の種類
- 道路の傾斜
- タイヤの種類
- タイヤの摩耗・老朽化
- タイヤの荷重（車両重量）
- 操舵状態
- スリップ状態
- 速度



路面性状別の速度と摩擦係数の関係の例

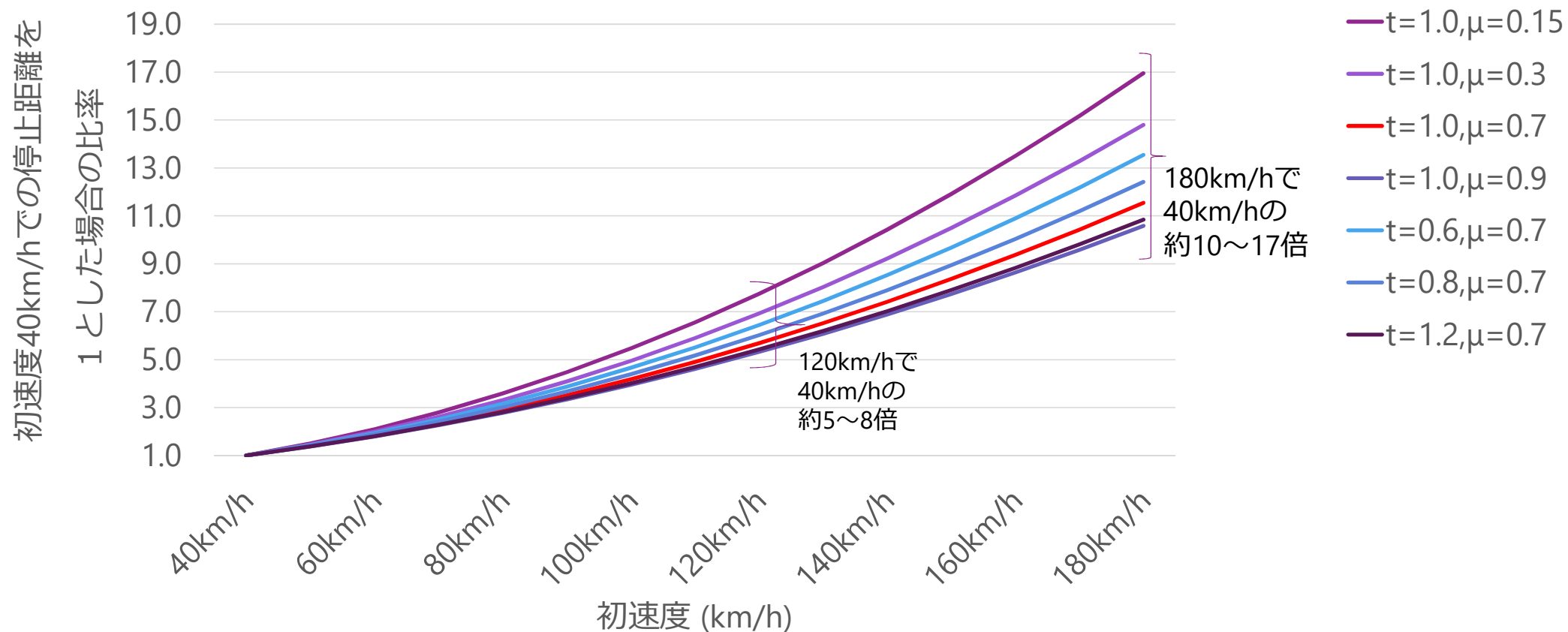
自動車技術会：自動車工学－基礎－（2002）より

路面の摩擦係数と空走時間による停止距離の変化



初速度と摩擦係数による停止距離の変化
(空走時間を1.0秒に固定して算出)

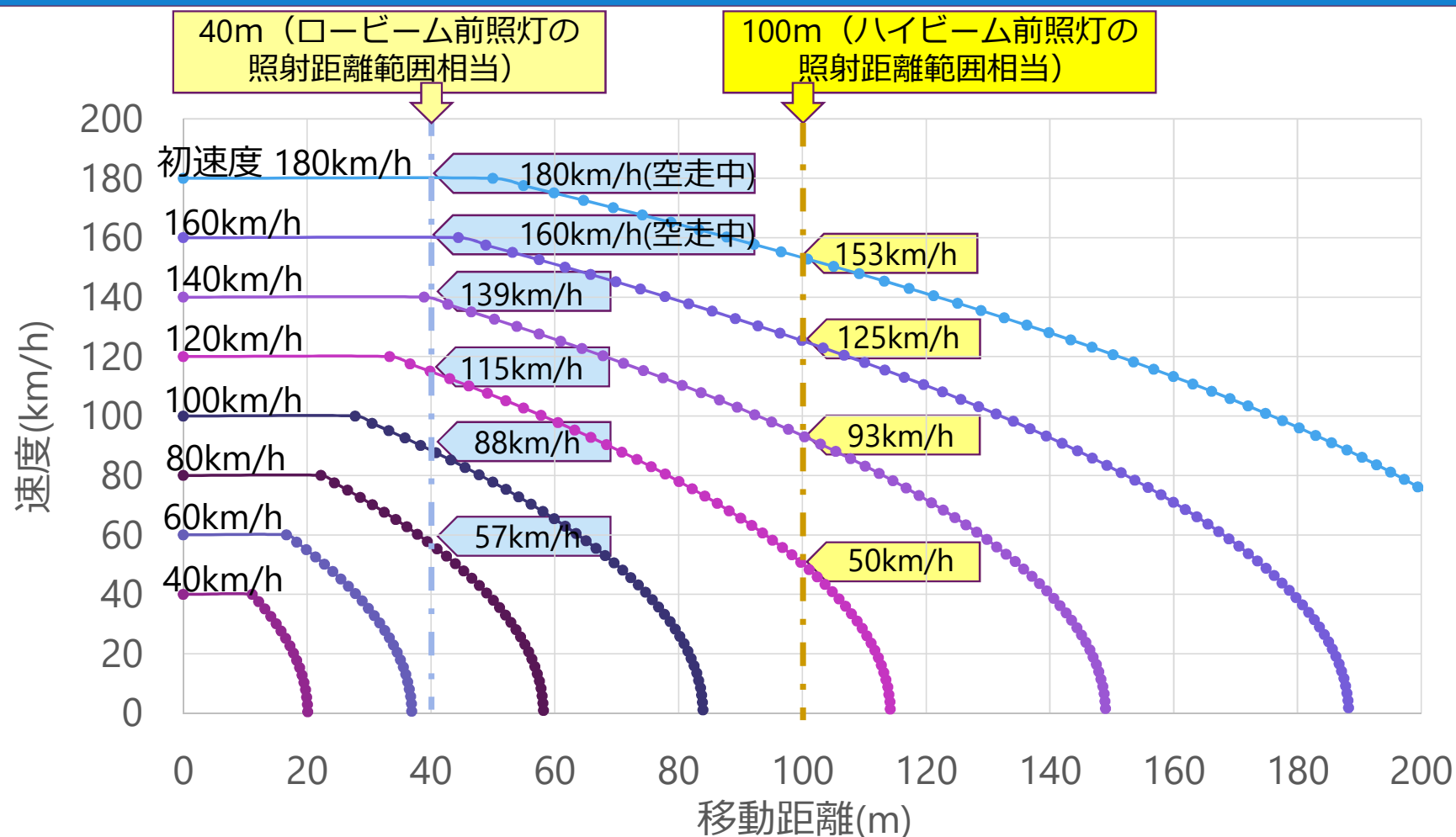
路面の摩擦係数と空走時間による停止距離の変化（続）



初速度40km/hでの停止距離を 1 とした場合の比率

（空走時間（t）と摩擦係数（μ）を、t=1.0とμ=0.7を中心として各々 4 段階に変化させて算出）

制動中の速度と移動距離の関係

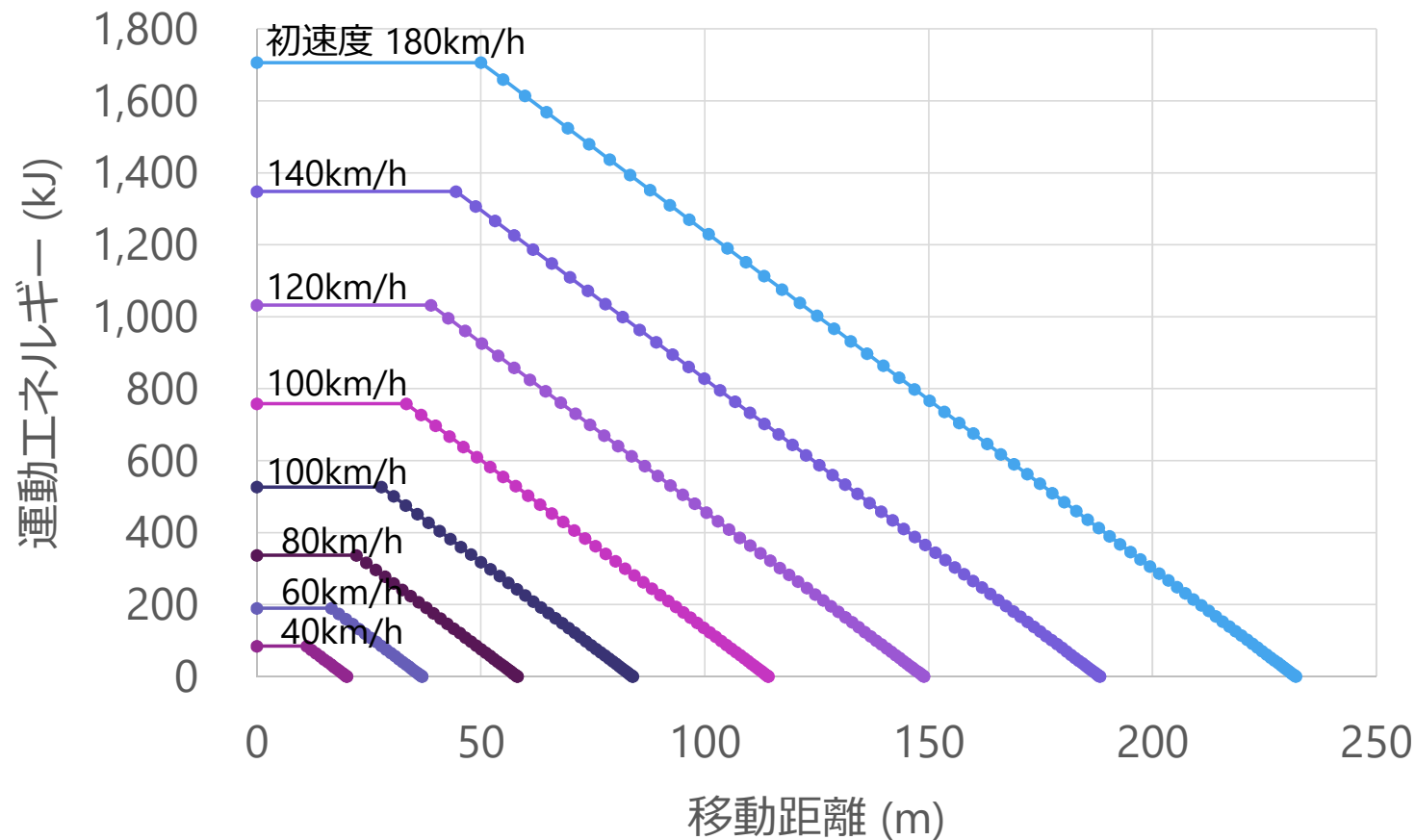


※前照灯の照射範囲として定められた距離まで移動した場合の各初速度における通過速度を図示

制動中の速度と移動距離

(空走時間を1.0秒、摩擦係数を0.7に固定して算出)

制動中の運動エネルギーと移動距離の関係



(参考) 車両前面に衝突した歩行者の衝突後の移動距離 (衝突地点と歩行者停止地点間の距離) の参考値

衝突速度	衝突後の歩行者の移動距離*
40 km/h	約10m
60 km/h	約30m
80 km/h	約50m
100 km/h	約80m
120 km/h	約110m

*日本自動車研究所「対歩行者安全車の研究」報告書(1972)による算出式により計算

制動中の移動距離と車両の運動エネルギー

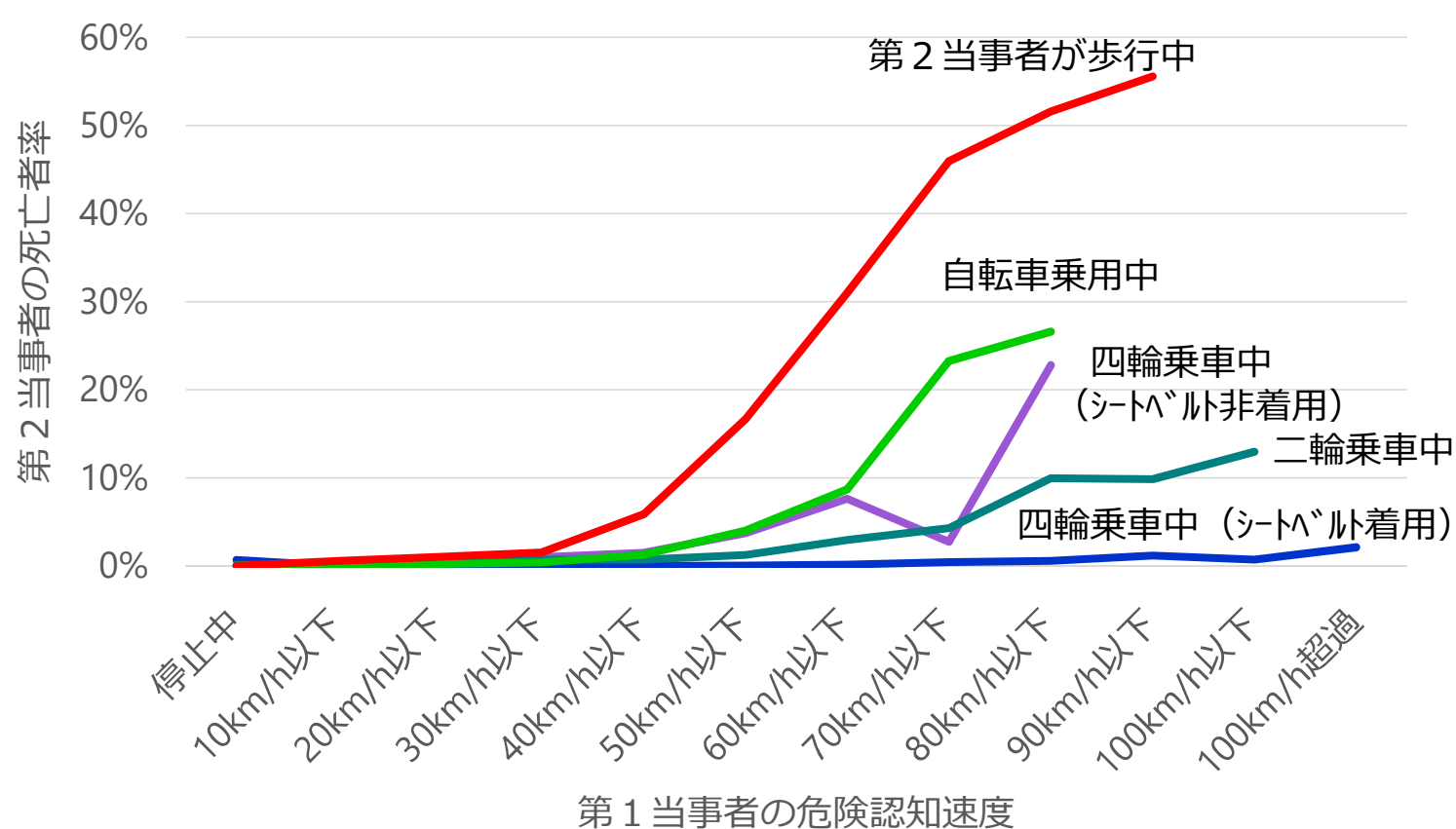
(空走時間を1.0秒、摩擦係数を0.7に固定して算出)

(車両質量を代表的な小型乗用車の1,365kgに固定して算出)

危険認知速度に関わる事故統計データ分析

- 第1当事者の危険認知速度別の事故を分析
 - 当事者順位：原則として過失の重い方を先位、軽い方を後位とする。なお、過失が同程度の場合は、人身損傷の軽い方を先位、重い方を後位とする。
 - 危険認知速度：事故当事者となった二輪車及び四輪車の運転者が、相手を認めて危険を認知した時点の速度。

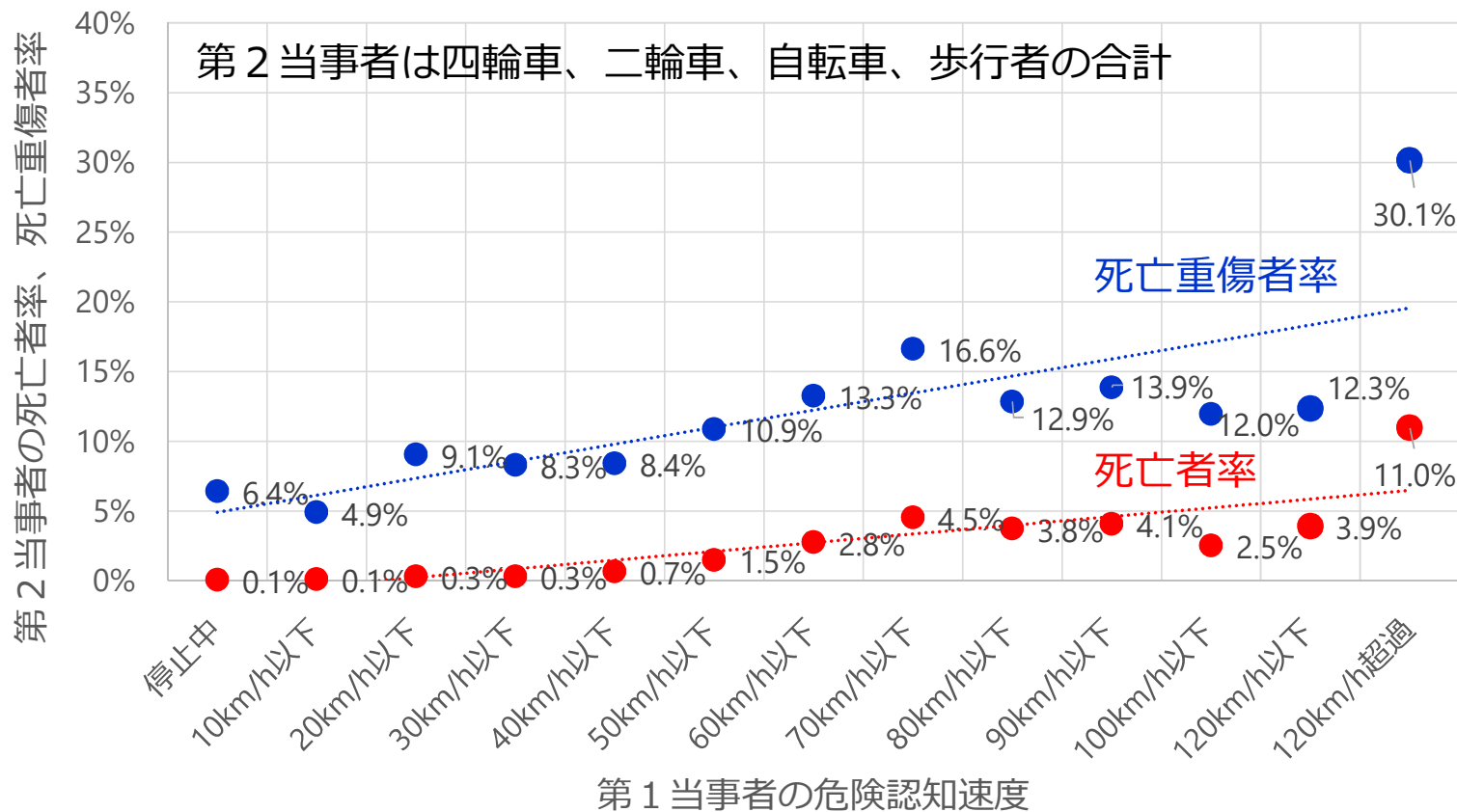
危険認知速度に関わる事故統計データ分析（2019-2023年合計）



※第1当事者の当事者種別は乗用車、貨物車、二輪車
※第1当事者の危険認知速度は不明等を除外
※死亡者率
= 死者数 ÷ 死傷者数
※分母となる死傷者数が50件未満となるデータは除外

第1当事者の危険認知速度別、第2当事者の状態別の死亡者率

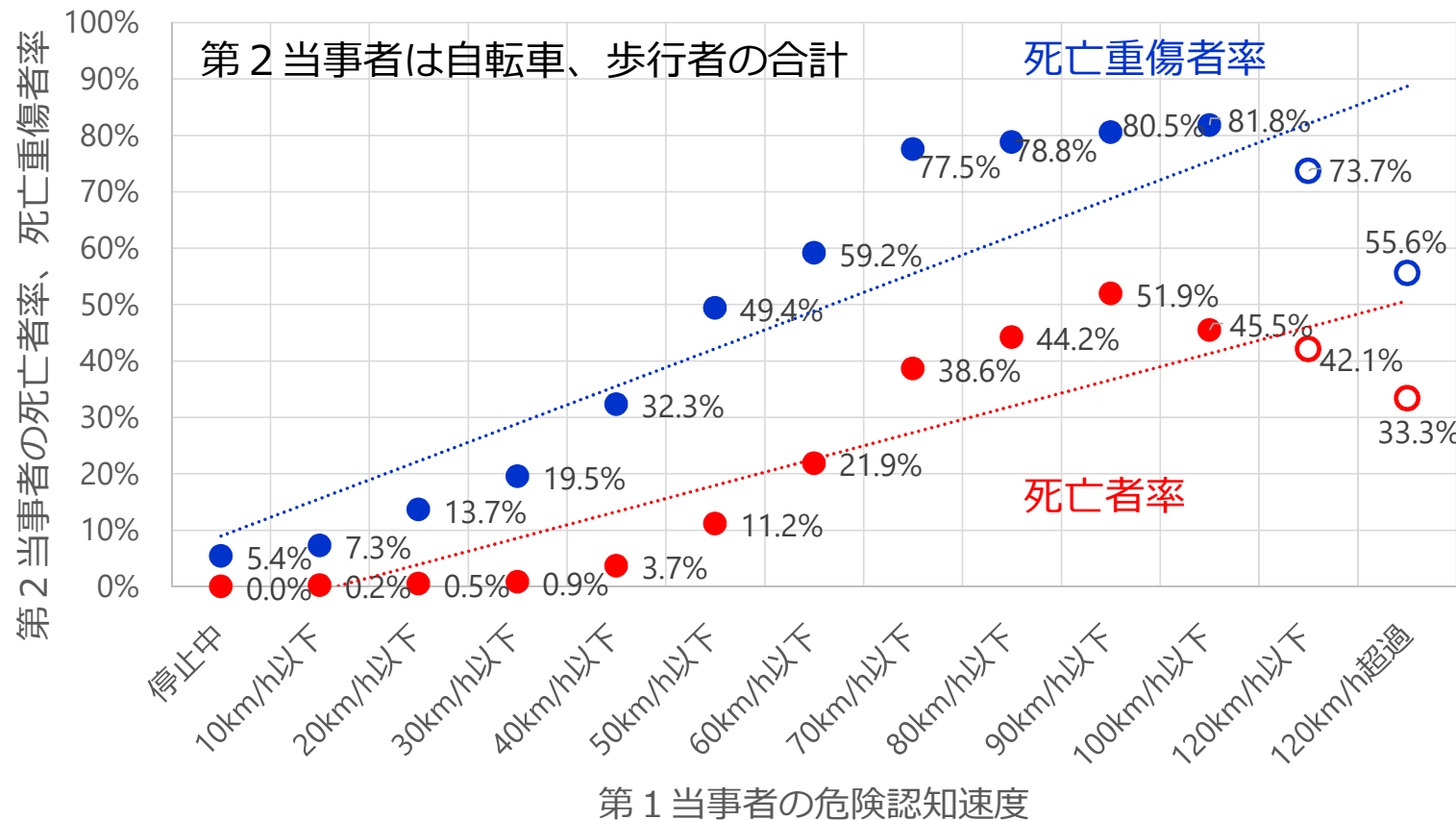
危険認知速度に関わる事故統計データ分析（2019-2023年合計）



- ※第1当事者の当事者種別は乗用車、貨物車、二輪車
- ※第2当事者の当事者種別は四輪車、二輪車、自転車、歩行者
- ※第1当事者の危険認知速度は不明等を除外
- ※死亡者率
= 死者数 ÷ 死傷者数
- ※死亡重傷者率
= (死者数 + 重傷者数) ÷ 死傷者数

第1当事者の危険認知速度別、第2当事者の死亡者率・死亡重傷者率
(第2当事者は四輪車、二輪車、自転車、歩行者の合計)

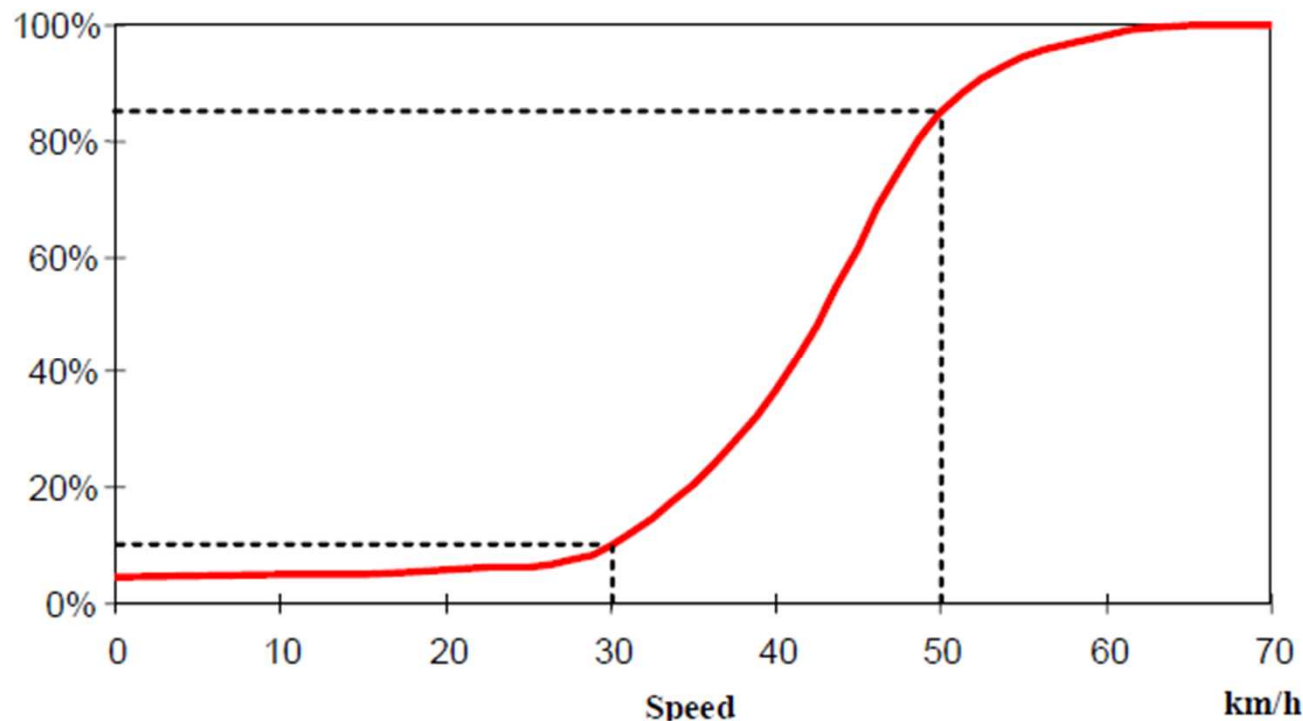
危険認知速度に関わる事故統計データ分析（2019-2023年合計）



- ※第1当事者の当事者種別は乗用車、貨物車、二輪車
- ※第2当事者の当事者種別は歩行者、自転車
- ※第1当事者の危険認知速度は不明等を除外
- ※死亡者率
= 死者数 ÷ 死傷者数
- ※死亡重傷者率
= (死者数 + 重傷者数) ÷ 死傷者数
- ※「100km/h以下」より高速は分母となる死傷者数が多くないことに留意
(「120km/h以下」は19件、「120km/h超過」は9件)

第1当事者の危険認知速度別、第2当事者の死亡者率・死亡重傷者率
(第2当事者は歩行者・自転車の合計)

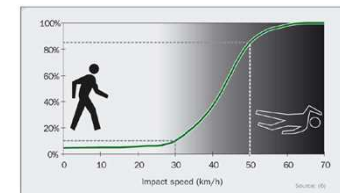
速度と傷害の関係



Probability of fatal injury for a pedestrian colliding with a vehicle

(Source) OECD/ECMT, Transport Research Centre: Speed Management report, Paris 2006
(Original Source) Interdisciplinary Working Group for Accident Mechanics (1986); Walz et al. (1983) and Swedish Ministry of Transport (2002).

- 歩行者が自動車事故で死亡する確率は、衝突速度とともに増大
- 歩行者と自動車の事故例調査によると、時速 30 km で自動車に衝突された場合は歩行者の 90% が生存するが、時速 50 km では 20%以下のみ生存
- また生存確率の50%マイル速度は約 40~45 km/hで、他の研究ではやや高い結果もある
- 歩行者の軽傷事故は未報告も多く利用可能なデータに統計的な偏りの可能性もあるが、低い衝突速度ほど重傷度が低下することは明確 (INRETS、2005)
- さらに高齢歩行者は身体的な虚弱性のため、同じ衝突状況でも若年者よりも致命傷を負う可能性が高い



※ Speed management - A road safety manual for decision-makers and practitioners - より

○30km/hの場合 → 致死率: 約10%
○50km/hの場合 → 致死率: 80%以上

警察庁資料

https://www.npa.go.jp/koutsuu/kikaku/regulation_wg/teigen/siryou2.pdf

まとめ

制動現象

- 交通安全関連の視点では、制動現象は、運転者が発生事象に対応してブレーキを踏み込む行動の間に車両が等速で進行する「空走」時間・距離と、タイヤと路面間の摩擦現象で車両が減速する「制動」時間・距離で構成
- 空走距離と制動距離の和が停止距離
- 空走距離は、初速度に空走時間（反応時間）を乗じて算出、速度に比例
- 制動距離は、運動エネルギーが摩擦エネルギーに変換される現象で、速度の二乗に比例
- 空走時間が変わると空走距離が、摩擦係数が変わると制動距離が変化
- 初速度が高いほど停止距離が延長し、また危険な状態も長く継続

速度と危険性（事故統計の集計結果より）

- 危険認知速度が高いほど、事故内容が重大
- 特に被害者を歩行者・自転車に限定すると、速度が高い場合の重大事故の割合は非常に高い