

渋滞の原因は「車両の走行のみによって渋滞が自発的に発生する場合」と「車両以外にも渋滞の原因がある場合」があると考えられる。前者の研究は車両走行の基本的ルールとして OV model 等が用いられる。後者には抽象的なボトルネックの導入が多いが、信号、トンネル、気象変化の影響も取り入れられる。

本研究では後者を扱い、特に、信号を取り入れる。道路は1次元、車両の速度は OV model に従うとする。信号は自動車に停止（赤）、進行可能（青）の指示をするが、信号の存在から、「車両はある整数の台数のみ通過可」、あるいは「車両は整数回の信号待ち」等、離散的な性質が期待できる。

本研究においては、信号がもたらす車両走行を、非定常の領域と、定常の領域に分類する。ここでは次の図1に示される状況に限定する。ここで、1次元道路に信号列が存在し、それらの信号は信号周期、並びに1周期の中の赤信号の割合が同じである。よって、信号と信号の間では、流入してくる車両数と通過（流出）してゆく車両数が、自由相の場合でも、渋滞相の場合でも同一となる。（信号どうしの同期の問題は本質的ではない。）一般には信号たちの性質が異なる事、脇道からの流入等々、より複雑な状況も存在するが、これは将来の研究課題とする。

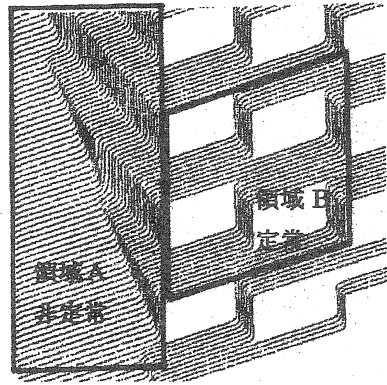


図1

よって、この系においては、上記2領域に関して、非定常領域は開放系として扱い、定常領域は1個の信号のみを有する周期系として扱うことができる。なお、今後、縦軸を車両密度 ρ （あるいは車両台数 N ）、横軸を赤信号時間の信号周期に対して占める割合 f_{red} とする相図を中心に研究してゆく。

(1) 非定常領域－開放系－

この領域では流量に関して図2のような相図を得る。（速度に対しても本質的に同様であるが説明は省略する。）

図2の左下の領域は、自由相である。一方、右上の領域は free constant 相（流量一定相）である。ただし、この相で流量が「一定」に見えるのは、車両台数 N

(図の縦方向)を変化させた場合のみであり、赤信号時間の割合 f_{red} の方向(図の横方向)には、段階的な減少が見られる。この階段は青信号において通過した車両台数(=整数値)に対応する。これらから、この相の中の各相は "flow constant" 相ではなく、"flow terrace" 相と名づけるべきであろう。図3には、相図(図2)において流量を高さにとった鳥瞰図を示す。

自由相においても各青信号を通過する車両台数は整数値である。しかし自由相においては乱雑なタイミングで自動車が行くため、統計量には階段が現れない。一方、渋滞相では、待たされた車両が、いつも同じ台数だけ「一斉に」青信号で通過するため、いわば coherent な状態が実現し、階段が現れる。

図2
非定常領域の相図
数字は、1回の青信号で通過する車両台数

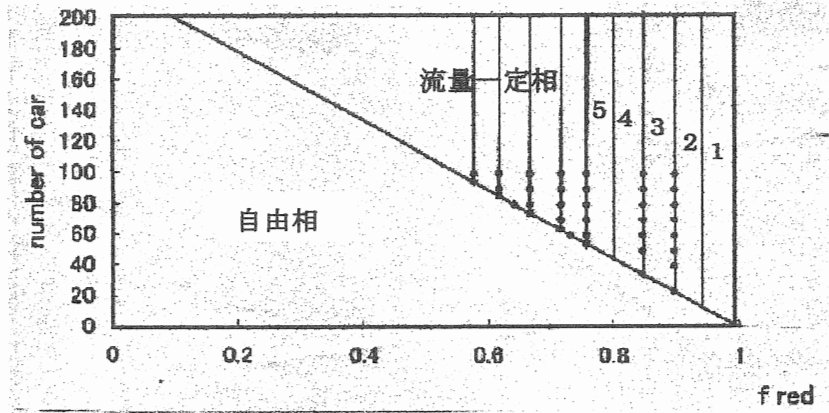
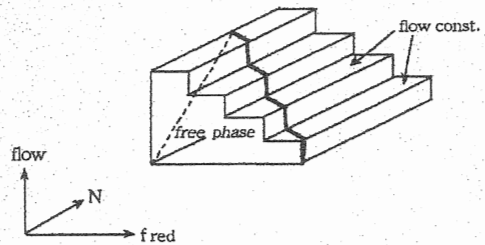


図3 (図2で流量を高さにとった鳥瞰図)
理解のために、「ひな段」を切断する。切断面が "free" 相。その手前の立体部分は無視すること。奥の各ひな段は、"flow constant" 相、あるいは "flow terrace" 相。

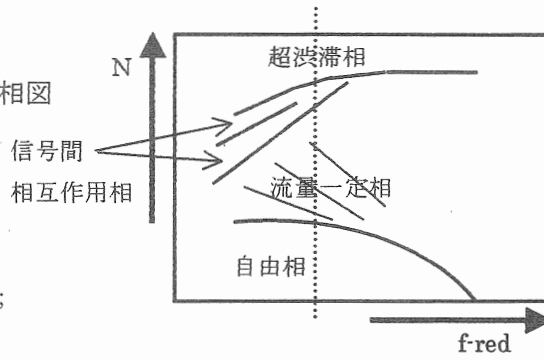
View of flow function



(2) 定常的領域—周期系—

周期系の相図は、予備的な計算で求められる限りにおいて、図4で表される。ここに、種々の相；自由相、流量一定相、信号間相互作用相、超渋滞相、が存在する。(これらの命名は著者によるものであり、一般的ではなく、以降に述べる内容を読まれた上で、ご批判頂きたい。)

図4 定常領域（周期系）の相図

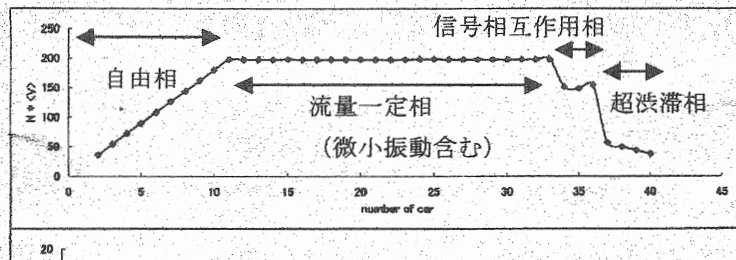


点線は、次の図5の示す箇所。
 流量一定相における線たちは、
 $N \times \langle v \rangle$ の振動の「谷」を示す；
 (図6参照。)

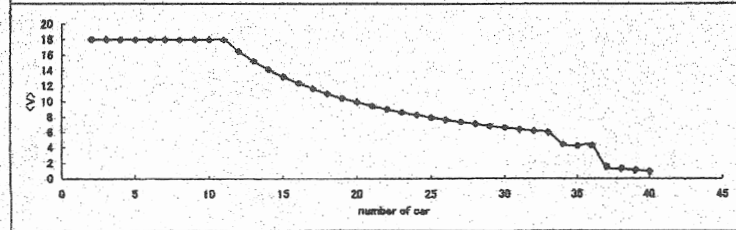
図5 定常領域（周期系）の 車両台数×速度 と速度

(f red = 0.5)

(図5-1)
 $N \times \langle v \rangle_s$



(図5-2)
 $\langle v \rangle_s$



以下に図4、図5で挙げた各相の性質について列挙する。

(b0) 流量一定相

流量を縦軸に取る場合、文字通り流量一定である。しかし、ここで、流量 = 車両台数 × <速度> の式は必ずしも成立しない。図5-1において車両台数 × <速度> を表すが、この速度に関しては、ある車両の周期単位区間のみで平均を取り、 $\langle v \rangle_s$ と表す。あるいは、信号一周分ごとに速度平均を取る、と言ってもよい。すると、図5-1では表し得ないが、縦方向を拡大すると、車両

台数に関して周期的な振動が見られる。(図6参照) 一般的には、この振動は車両台数-赤信号の比率の平面において存在する。(図4参照) この振動に関しては、文献1)において、すでに報告している。

この振動は、直前の信号の青信号を抜けた一群の車両たち(packet flow)が、次の信号の同一の青信号を同時に抜けられるか、それとも、一部は早く、一部は1回余計に待たされるか、という状況が、車両台数が多くなるとともに繰り返すことに起因する。

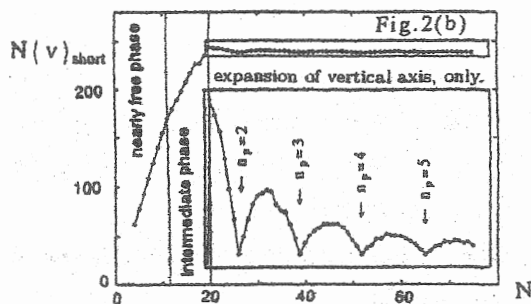


図6 より正確な計算による $N \times \langle v \rangle_s$ の振動。文献1)より、転載。

図6での最下点は、同一の信号を一斉に抜けた場合を示す。数字は抜けるまで何回分の赤信号を待たされたかを示す。図4の線たちもこの最下点を示す。

(b 1) 信号間相互作用相

ここまでの台数の場合、1つの青信号を通過した車両はしばらくは自由に走行している。これは信号の効果が独立に存在することを意味する。しかし、台数が多くなれば、次の信号の引き起こす渋滞の存在によって、1つの青信号を抜けた直後にこの渋滞に入るかあるいは1つの青信号を抜けること自体に困難が生ずる。この相はこの効果に由来する。

この信号相互作用相には、複数の相があり、相の分岐が見られる。(図4参照)これが何を表すのかは、今後の課題である。

(b 2) 超渋滞相

さらに台数が多くなる領域は、信号の存在にかかわらず渋滞が発生している領域と考えられる。ここでは、「自由相において青信号が信号の先において、何も無いところに車両を生じさせた」様子と立場が逆転して、「車両高密度状態をベースに、信号の先の空間に、赤信号が車両の空洞を生む」役割を果たす。これは強磁性相の中で、大勢の方向に反対向きのスピンの存在しても、統計的に効果を上げないことに類似している。

- 1) H. Mitani, One-Dimensional Traffic Flow on a Signal Array with Spacio-Temporal Periodicities, "Slow Dynamics in Complex Systems, 1999 American Institute of Physics, Proceeding of Eighth Tohwa Univ. Inter. Sympto., P 703