論文

道路の混雑：独学者のためのミクロ経済分析入門 I*

井手一郎
Ichiro Ide
滋賀大学 経済学部 / 准教授

*JEL Classification Codes: A20。

I　はじめに

長年、専門性を踏まえた仕事をしてきた人には、自分の専門分野について、1回きりの機会で、水先案内めいた内容を話すように求められた経験があるだろう。例えば、大学教員の場合、新入生対象の教養科目のリレー講義において、各分野の教員が1回ずつ分担してそれぞれの専門について話す場合や、高校訪問やオープンキャンパスでの模擬講義、あるいは、各地で催されている様々な勉強会などで、内容の細かい指定なしで講演を任される場合などがこれに当たる。近年は、講演が録画され、電子メディアで公開されることも増えているので、潜在的な聴衆の範囲は、当初の想定を超えた広がりをもってきている。電子技術の発展とともに、多くの工夫や活用の余地がある、知的コミュニケーションの独自の機会の一つであると言えるかもしれない。

このような場で聴衆として現れる人々を、本稿では、独学者と呼んでみたい。独学者という言葉には、確固とした信念に基づく継続的実践としてのautodidacticismを連想する向きも少なくないであろうが、ここでは、ふとした好奇心から、いつもと違

1）学会やコンファレンス、ワークショップなどで行われる研究発表の場合、発表の外形的な手順はほぼ定型化されており、また、聴衆の大半は同業の研究者であるので、主題に応じた高い水準の専門知識を前提してかまわない。他方、大学の通常授業の場合には、多くの分野で優れた教科書が準備されているので、15回程度の講義機会を使って、教科書の体系的構成を念頭に置いて授業を進めることができ、また、受講生は入学試験等で一定以上の学力を示すことができた学生たちであるので、受講者の学力の水準は均質とまでは言えないものの、かなりならされている。これに対して、1回きりの機会における、公衆を広く潜在的な聴衆とする、独学者のための学習案内は、話者の間で内容の満たすべき条件につい

う場所に足を踏みいれ、昨日までとは異なる知的風景を一瞥してみようとする、いわば、その場その時の、気軽な独学者を念頭に置いている[1)]。独学者のための学習案内を主題とすることは、総合性、教養、あるいは、イノベーションについて、実践的に考える契機になる。例えば、ある専門家が、自分の専門の垣根を越え、総合性の方へ踏み出すとき、あるいは、結果として画期的な発見・発明・イノベーションをもたらす可能性のある、専門の通念に反した「非常識」な試みに着手するときなど、その人の姿は独学者と似ているかもしれない。戦略的な独学者が多様な学術的試行錯誤を踏まえて、一歩一歩、進んでいくとすると、専門家養成のために敷かれたレールの上を真っすぐに突っ走る人々に比べて、むしろ、独学者には、多くの分野にわたる、効率的な試行錯誤のための、充実した一群の学習案内が必要である[2)]。政治家、経営者、編集者など、総合性において突出することが望まれる立場の人々の、多くの分野を横断する事実認識の正確さや物事の軽重に関する価値判断の健全さを保つためには、総合性と教養のための、広い意味でのインフラストラクチュアの充実が求められる。独学者のための学習案内はそのような広義のインフラストラクチュアに属する要素の一つである。

特に、ミクロ経済分析を主題として、1回きりの講演を行う場合、その内容をどのように構成すべきであろうか。このような問いに唯一の正解があるとは思わないが、本稿では、一つの具体例を提示することで、この問いに答えることへ向けた、筆者の試みの跡を記したい。

さて、ミクロ経済分析を主題とする、独学者のための学習案内の要件は、どのようなものであろうか。1回の講義にすべてを詰め込むことができないのは自明であるが、まず、細部を扱うにしても、そこから分析の全体像の印象を引き出せるものが望ましいだろう。次に、難易度としては、講演内容の骨格を、初めて声を聴き活字を追うその場で、理解可能であることが望ましい。例えば、数学的準備だけで1年以上を費やすような難度の主題を話すのは論外である。前提する数学の水準については、高校の数学が一つの基準となろう。さらに、ミクロ経済分析が分析である限り、単純なものでも、実際に自分で使うことができる理解を目指したい。最後に、経済学は社会科学の一部であるので、個人の選択と社会の仕組みとの対照や関係がくっきりと際立つ素材が興味深いかもしれない。

本稿では、道路の混雑のミクロ経済分析を取り上げる[3)]。道路の混雑の経済学については、ピグーの古典的著作以降に限っても多くの研究が蓄積されている。その一部については後半で触れる。先回りして注記しておきたいが、本稿は、多くの先行研究を「食材」にして、混雑の経済分析を主題とする、独学者のための学習案内という、一つの「料理」を作ることを狙いにしている。本稿に貢献がありうるとすれば、それは新たな「食材」の提供ではなく、様々な既存の「食材」を使った「料理」の作り方に関してであろう[4)]。

ての共通理解が乏しく、水準も多様である。この点で、それは研究発表や通常授業とは異なる、まだまだ未開拓の試行の範疇に属しているように見える。

2）独学者を、独自の言語と分析枠組みを駆使して思考し、他者の知的支援を必要としない人と定義すると、定義により、独学者は他者による学習案内を必要としないので、独学者のための学習案内という表現は矛盾を含むものになろう。しかし、人は自分独自の言語と分析枠組みをあらかじめ備えて誕生するのではない。独学者の歩みは、まずは他者の著作で自分を鍛えながら歩き始め、どこかの時点で、自分の書いたものを、自分向けに自分で編集した教科書・問題集に加えて、さらに先に進んでいくという順序になろう。また、独学者の歩みに終着点はなく、常に途上にあるともいえよう。

3）日常用語としては、交通渋滞（traffic jam）の方が近しいかもしれないが、本稿の分析はその他のネットワークの混雑現象にも応用できるので、混雑（congestion）という語の汎用性に注目して、こちらを用いる。

4）本稿の基本モデルの内容を、筆者が経済学の初学者向けの授業や講演等で使い始めたのは2010年以前に遡る。本稿はそれらの経験を踏まえて、エッセイと論文の中間のスタイルを意識して執筆されたが、敢えて、専門分野の分類表に当てはめるなら、経済学教育一般のカテゴリーになろう。

総合性に配慮した関連文献の提示を考えると、一つの専門分野の中で先行研究を一覧することだけでは十分ではない。複数の専門分野を横断して、あるいは、専門以前のところから、関連する作品の系譜を示すことが重要である。さらに、専門分野の入門的教科書等の関連する部分についても言及がある方が親切であろう。ここでは、道路の混雑にかかわる最小限の系譜として、次の二つの文献を指摘しておきたい。

1937年に出版された、吉野源三郎の『君たちはどう生きるか』の本文は、主人公の中学生が霧雨の降る銀座の百貨店の屋上で、銀座通りの自動車の流れを俯瞰する描写から始まる。通勤による、潮の満ち引きのような、人口や交通量の変動。その波の中の「水の分子」のような個人。道路の混雑は個人の選択を条件づける社会の運動法則の描像として用いられている。その指摘だけにとどまらず、社会認識との関係の中で「どう生きるか」という主体の条件を問うのが吉野のこの著作の特徴であるようだ[5)]。

ところで、気になるのは、この社会認識がどのような理論的基礎に依るのか、という点である。著述家にとって思想警察が現実の脅威であった時代に、吉野は中学生を主人公とすることで、作品の思想的背景を官憲から見えにくくすることに成功している。また、そのことが作品世界を今日の読者にも近づきやすいものにしていると思われるのだが、作品の中では生産関係といったマルクス経済学の用語が使われている。上記の本の出版から80年以上に及ぶ世界史を踏まえ、異論・反論は様々にあるかもしれないが、一つの問いは、マルクス経済学やマルクスを援用する様々な言説が説得力を失う中で、現代社会に対する批判的実践の基礎となる社会認識の根拠をどこに求めるかということである。社会認識の分析的枠組みを刷新することが、『君たちはどう生きるか』を生きた古典として、その良い部分を明日に引き継ぐための必要条件になるように思われる。

1974年に宇沢弘文は『自動車の社会的費用』を著し、「自動車の問題性」を正面から問うた。宇沢は現代経済学の批判的吟味に加えて、混雑だけでなく、自動車事故や大気汚染などを含む、自動車を取り巻く全体状況について強力な問題提起を行った。その問いかけに対して、上記の本で宇沢は完璧な解答を与えたわけではなかったが、道路を社会的共通資本としてとらえ、その特徴の一つに、混雑現象の発生を挙げている点が注目される[6)]。

ところで、宇沢は、社会批判の先達の一人としてヴェブレンに言及し、宇沢がヴェブレンに由来するとしたアプローチを制度主義と呼んだ。宇沢は制度主義について、いろいろな論考の中で繰り返し触れているが、例えば、宇沢弘文(2000)では、アダム・スミスにも言及しつつ、マルクス主義と新古典派経済学の両方を退け、それぞれの国や地域の制度的条件に依拠した経済学の必要性を論じている。本稿の上の文脈からは、制度主義は、マルクスにかかわる現実政治的な一切とは独立したところで、現代社会に対する批判的実践のための理論的基礎を作る試みである、と理解することができる[7)]。

本稿は、このような意味での、吉野－宇沢の系譜の延長線上に、ミクロ経済分析の視点から、道路の混雑に関する一つの注釈を追加するものである。では、次章にて、三つの問いを提示することから、本論を始めよう。

5) この点については、丸山眞男(1981)に語ってもらおう。「吉野さんの思想と人格が凝縮されている、この1930年代末の書物に展開されているのは、人生いかに生くべきか、という倫理だけでなくて、社会科学的認識とは何かという問題であり、むしろそうした社会認識の問題ときりはなせないかたちで、人間のモラルが問われている点に、そのユニークさがあるように思われます。」「世界の『客観的』認識というのは、どこまで行っても私達の『主体』の側のあり方の問題であり、主体の利害、主体の責任とわかちがたく結びあわされている、ということ――その意味でまさしく私達が『どう生きるか』が問われている」など。

II 三つの主張

以下の三つの主張を考えることから始めよう。

主張1「個人に選択の自由があるのと、選択の自由が制限されるのとでは、自由な方が良い。例えば、二つの道があって、どちらでも好きに選べるのと、人によって通れる道が決まっているのとでは、自由に選べる方がいい。後者の場合、自分に指定された道よりも満足が高まるから別の道を通りたいと望むのであり、それを自由に選ばせればその人の満足は明かに高まるからだ。」

主張2「通れる道が二つだけなのと、それ以外の道も通れるようになって三つ以上の経路の選択肢が確保されるのとでは、後者の方がいい。なぜなら、前者で選んだ道も後者で選ぼうと思えば選べるからだ。」

主張3「道路を改修すべきかどうかは費用と効果の大小で決まるが、改修工事によって同じ混雑度での通勤時間が削減されることが明らかであり、その工事の費用がごくわずかであれば、改修工事をやる方がいいのは自明だ。」

どの主張も、もっともそうに見えるのではなかろうか。以下、これらの主張の是非を検討していきたいが、まず、各主張を道路の混雑に関する設問の形式で表現することを試みよう。設問の形式に書き直すことで、議論の焦点を明断にすることができるからである。

例えば、主張1を次のような問題の形で表現してみる。

「地点Aから地点Bへ行くには、二つの道ア、イが利用できる。道アを使うと交通量に関係なく1時間で到着。道イはその道を使う人数をxとすると、x時間かかる。(つまり、道イを使う人が多いほど混雑して時間がかかる。) 地点Aから地点Bへ移動する人は多数いて、その全人数を (単位を適切に選ぶことで) 1とする。
(1) それぞれが自分で道を選ぶ場合、人々はどのように道を使うか。
(2) 社会的に最適な道の使い方はどのようなものか。」

以上の二つの小問に続けて「(3) 先の主張1を、この問題に即して批判せよ」を追加する方が、主張1の批判的検討という設問の意図は明確になるが、三つの主張の是非については、本稿後半の議論で扱いたいので(3)は設けず、本節ではもっぱら、後の考察の根拠となる論理的事実を確認する。さて、この問題の解答を考える前に、文中の仮定の意味を確認し、明確に説明されていない条件を補いながら、問題の再定式化を試みよう。

まず、個人の行動についてである。個人は自分の所得が大きいほど嬉しいとして、例えば、自宅のあるA地点から、仕事場のあるB地点に移動することで、初めて十分に大きい所得を手に入れることができるとすると、個人は必ず仕事場に移動する (すなわち、自宅にとどまる選択はない) と考えてよい。

しかし、移動のために、個人は移動時間を費さなければならない。いま、1時間あれば1000円を稼ぐことができるとすると、移動に1時間をかけることは稼げたはずの1000円を犠牲にすることになる。

6) 宇沢(1974) p.126-130、155-157。

7) 宇沢弘文(2000) p. 20-21。なお、経済学史上の事実として、欧米には様々な制度主義・制度学派の存在を認めることができる。

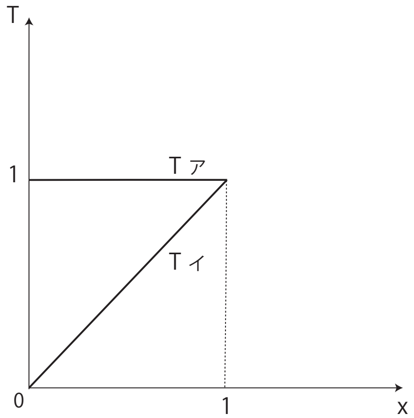


図1　道ごとの個人の移動時間

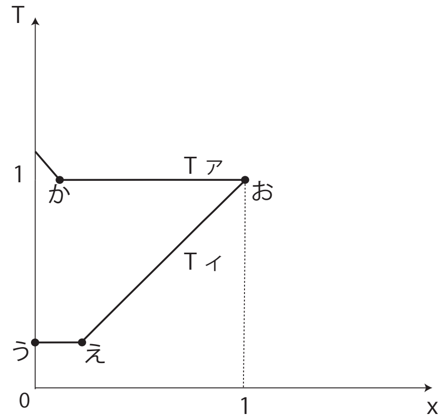


図2　現実的な移動時間の例

これを移動費用の尺度と考えると、所得を最大にしたいと考える個人は、移動時間の短い方の道を選ぶと考えてよい。

ここで、1000円を新たな貨幣の単位として1新円と呼ぶことにすると、移動時間の数値がそのまま新円単位の（犠牲にした稼ぎの額で計測した）移動費用を表すので便利である。すなわち、道アを選ぶと移動時間は1時間、移動費用は1新円。道イを選ぶと移動時間はx時間、移動費用はx新円になる。以下、本稿では、新円以外の貨幣単位は登場しないので、新の字をとって、新円を改めて円と表記することにする。

同様に、人口に関する単位についても、移動する人の総数が、例えば、10万人であるとすると、10万人を人口の単位とすることで、「全人数を（単位を適切に選ぶことで）1とする」ことができる。この時、例えば、道イを選ぶ人口が0.5であるなら、それは10万人を1とした0.5、すなわち、5万人を意味する。各個人の行動の結果、社会全体としてのxが決まる。全員が道アを選択すれば$x=0$、全員が道イを選択すれば$x=1$で、xは0から1までの値を取ることができる。

各人の行動の結果、どのようなxが実現するか。これが(1)で問われていることである。

図1は横軸に道イを選ぶ人の人数x、縦軸に個人の移動時間Tをとっている。道イを選択する場合の個人の移動時間$T_{イ}$はxの関数で、$x<1$では道アを選択する場合の移動時間$T_{ア}=1$よりも下にあり、$x=1$では同じ高さになる。すなわち、全員が道イを選択する状況($x=1$)では、$T_{ア}=T_{イ}=1$となる。

なお、道イの移動時間について、上で「道イを使う人数をxとすると、x時間かかる」と仮定しているが、これではxがゼロに近い場合、ほとんど移動時間なしでBまで移動できることになり不自然である、という批判もありえよう。これに対しては、道ア、道イのそれぞれを通る人が少ないうちは移動時間は一定で、臨界的な移動人数を超えると混雑による遅延が始まるというモデルも可能である。例えば、

図2では、道イは図の「うえ」の人数を超えると混雑が始まり、道アは点(1, 0)を原点として左向きに計測して「おか」の人数を超えると混雑が始まる状況が作図されている。しかし、このような変形はモデルを複雑にするので、モデルを現実の方へ向けて変形できることを確認したうえで、差し当たり、モデルをできるだけ容易に理解できるものにするという方針に従って、本稿では図1で表現される、初めの単純な仮定の方を選びたい。

次に、「社会的に最適な道の使い方」を考えるためには、社会的に最適であることの基準、すなわち、社会的厚生の基準を考えておく必要がある。ここでは、個人が移動時間の最小化を目指して行動すると仮定しているので、一つの社会的厚生の基準として、社会的移動時間に注目しよう。社会的移動時間は、全個人の移動時間を社会全体で集計した値で定義される。例えば、人口の1/3が道アを用い、残りが道イを使う場合、社会的移動時間は、$1\cdot(1/3)+(2/3)\cdot(2/3)=7/9$になる。以下では、社会的移動時間が小さいほど、その時の移動状況は社会的に好ましいと考える。(これは、社会的移動時間にマイナスを付けた値を大きくするほど好ましい、と表現するのと同じである。)なお、本稿では、移動時間の数値がそのままで移動費用を表すので、社会的移動時間の最小化は、社会的移動費用の最小化と同じと考えてよい。

社会的移動時間をxの関数として表し、それを最小にするxの値を求める。これが(2)で問われていることである。

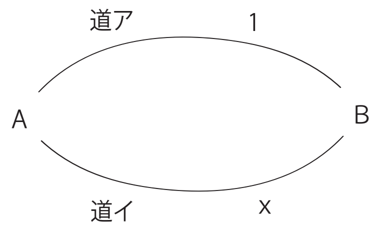
以上を考慮して問題を書き直すと、次節の問題1が得られる。では、分析に取り掛かることにしよう。

III 分析

3.1 主張1:自由な選択は常に好ましい結果をもたらすのか?

主張1の是非を検討するために、次の問題を考えよう。

問題1　地点Aから地点Bへ行くには、二つの道ア、イが利用できる。道アを使うと交通量に関係なく1時間で到着。道イはその道を使う人数をxとすると、x時間かかる。(つまり、道イを使う人が多いほど混雑して時間がかかる。)地点Aから地点Bへ移動する人は多数いるが、(単位を適切に選ぶことで)全体の人数を1とする。



(1) それぞれが自分で道を選ぶ場合、人々はどのように道を使うか。ただし、個人は移動時間が最小になるように行動すると考えてよい。
(2) 社会的に最適な道の使い方はどのようなものか。なお、社会的厚生は社会的移動時間(社会全体で集計した移動時間)が小さいほど高いと考えよ。

では、解答を考えよう。まず、個人の道の選択であるが、道アを選べば1時間必ずかかる。道イを選べば、最悪で1時間($x=1$の時)。幸運($x<1$)なら

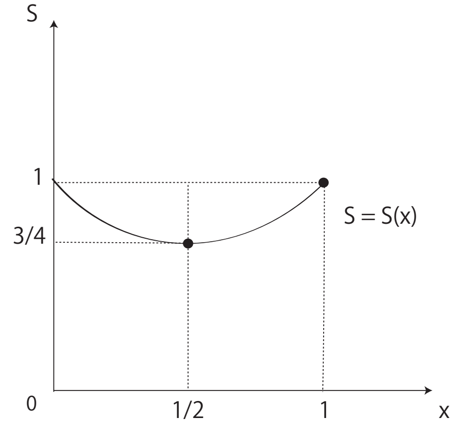


図3　道イを通る人数と社会的移動時間

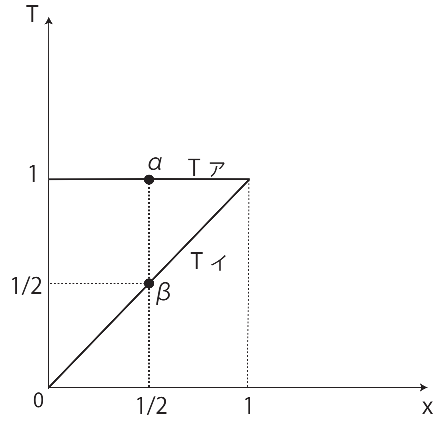


図4　社会的に最適な道の利用

1時間より短い時間で済む。従って、道イは道アに対して、悪くて同点、それ以外では勝るので「全員が道イを選ぶ」が一つの結論になる。これは直観的にわかりやすい推論であろう。

ところで、人口が10万人で、自分以外の99999人は全員道イを選択しているとする。残りの一人は、どちらの道を選択すべきか。道アを選べば1時間かかる。道イを選べば、x =10万 / 10万 = 1なので、やはり1時間かかる。どちらを選んでも同じ結果である。従って、最後の一人は道アを選択するというのがもう一つの結論である。（この時、道アを選ぶ一人の選び方は10万通りある。） 人口が十分に多いならば、結果として$x = 1$の近傍が実現することになる。この時、道イを選んでいる人の移動時間は99999 / 100000 < 1となっているので、誰も道アを選び直したいとは思わない。

従って、(1) の解答は、「全員が道イを選ぶ。あるいは、一人が道アを選び、他の全ての人が道イを選ぶ」となる[8)]。

次に、(2) であるが、社会的移動時間は、道アを選ぶ人数が$1 - x$、道イを選ぶのがxで、それぞれに一人あたりの移動時間、1とxをかけて足せば求まる。道イを選ぶ人がxの時の社会的移動時間を$S(x)$とすると、

$$\begin{aligned} S(x) &= 1 \cdot (1 - x) + x \cdot x = x^2 - x + 1 \\ &= \{x - (1/2)\}^2 + (3/4) \end{aligned}$$

関数$S(x)$は二次関数なので、そのグラフを描き、最小値を求めることができる。（図3を参照。） 社会的移動時間を最小にするxの値をx^*とすると、$x^* = 1/2$である[9)]。これが(2) の解答である。

この結果から、社会的に好ましい道の利用$x^* = 1/2$に比較して、個人が道を自由に選択する場合の道の利用$x = 1$は、道イが過剰に利用されているという意味で、社会的に好ましいものではないことがわかる。

8) 以下、「$x = 1$およびその近傍が実現する」というのを、「$x = 1$が実現する」と短く表記する。

9) もちろん、Sをxで微分して、増減表を作るという手順を踏んで最小値を求めても良い。

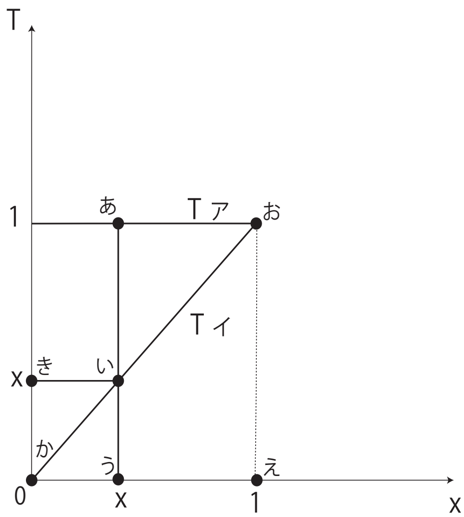


図5　社会的厚生の図解

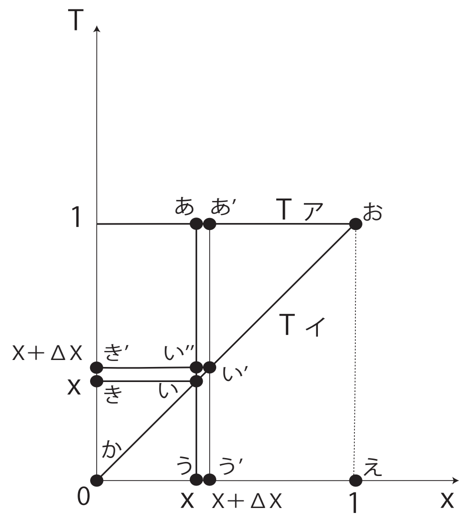


図6　道アから道イへの変更1

なぜ、個人が自由に道を選択すると社会的に望ましい道の利用を実現できないのか。図4を見ると、図4の点βの縦軸の値が社会的に最適なx^*における道イを選ぶ個人の移動時間1/2を表す。この時、道アを選ぶ個人の移動時間は点αの縦軸の値で、それはxと独立で、常に1である。つまり、社会的に望ましい$x^* = 1/2$において、道アの移動時間は道イの移動時間の2倍になっている。その結果、社会的に望ましい道の利用が実現している状況から、道の選択が自由化されると、道アを使っていた個人は道イを選びなおすことで、移動時間を減らすことができる。そのため、次々に道アから道イに変更する人が出ることで、結局、二つの道の移動時間が同一になるまで、道アから道イへの変更が続き、$x = 1$が実現する。

言い換えると、道アを使おうとしている個人が道イを選びなおすことで、xがΔxだけ増えるとすると、この変更によって道アを使っていた移動時間が$1 \cdot \Delta x$だけなくなり、道アから道イに変わる人にとって、道イを使う移動時間が$(x + \Delta x)\Delta x$だけ発生する。これを差し引きすると、$(x - 1 + \Delta x)\Delta x$になる。$\Delta x$が十分に小さいなら、$(\Delta x)^2$は非常に小さくなるのでこれを無視する（ゼロと置く）と、道アから道イへ変わる個人の移動時間の変化は$(x - 1)\Delta x$となり、$x - 1 < 0$である限り、$\Delta x > 0$とすることで、この個人の移動時間を削減できる。こうして次々に道イを使う個人が増えていく。

他方、社会的な移動時間は、二つの道を使う全員の移動時間の変化を考慮して、$\{(x + \Delta x)^2 - x^2\} - 1 \cdot \Delta x = (2x - 1)\Delta x + (\Delta x)^2$だけ変化する。上と同様に二乗の項を無視すると、$(2x - 1)\Delta x$が社会的移動時間の変化を表すことがわかる。これは、$(x - 1)\Delta x + x\Delta x$と分解でき、前者が先に求めた道アから道イを選びなおす個人の移動時間の変化であり、後者がもとから道イを使っていた人たちの移動時間が、混雑により増加する分を

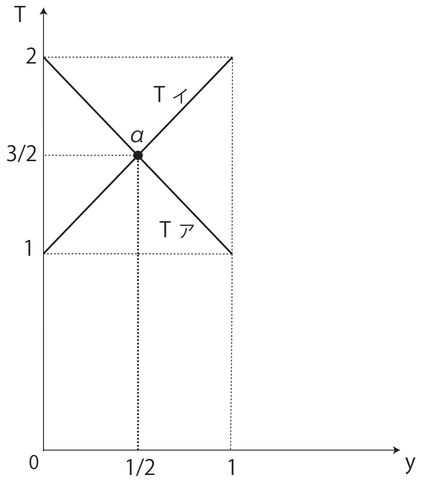


図7　道ごとの個人の移動時間2

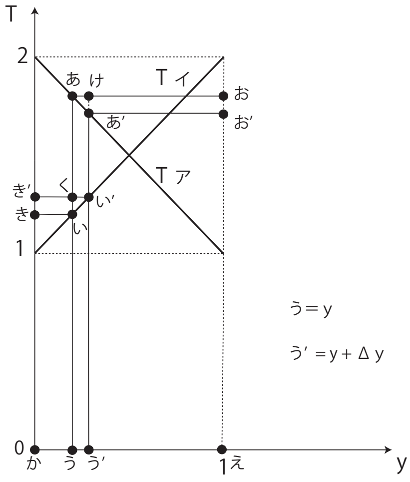


図8　道アから道イへの変更2

表す。個人は前者しか考慮しないが、社会的には後者も含めた全移動時間の変化が重要である。個人は後者を考えに入れないため、道イの過剰利用が実現する。

以上の議論は図を用いて表現できる。図5は$x<1/2$について、道ごとの個人の移動時間を描いたもの（つまり、図1に$x<1/2$を書き込み、関連する点に「あ」から「き」を記したもの）である。

社会的移動時間$S(x)$は$S(x)=1\cdot(1-x)+x\cdot x$である。ところで、四角形「あうえお」の面積$=1\cdot(1-x)$、四角形「いうかき」の面積$=x\cdot x$であるので、$S(x)=$四角形「あうえお」の面積+四角形「いうかき」の面積 である。

道イを使う人数が図6のxである時、道アを使うごく少数の人々$\Delta x=$「うう’」が道イを選びなおすとすると、その人たちの移動時間は、「あう」$\cdot\Delta x=$四角形「あうう’あ’」の面積から、(「いう」$+\Delta x)\cdot\Delta x=$四角形「い”うう’い’」の面積に減少する。減少の大きさは(「あい」$-\Delta x)\cdot\Delta x=$四角形「あい”い’あ’」の面積である。この値をΔxで割って人口1単位当たりの数値に直し、さらに、Δxをゼロに近づけると、減少の大きさは「あい」になる。

これに対して、道イを選び直した人以外の移動時間は、道アを使い続ける人には変化がなく、初めから道イを使っていた人にとっては、道イを使う人数が増えるため、混雑によって増加する移動時間の大きさは、「いき」$\cdot\Delta x=$四角形「いきき’い”」の面積である。これをΔxで割って人口1単位当たりの数値に直し、さらに、Δxをゼロに近づけると、増加の値は「いき」になる。

移動時間の「あい」の減少と「いき」の増加は、$x<1/2$の時には、「いき」<「あい」であり、xを増やすことで社会的移動時間を減少できる。$x>1/2$の時には「いき」>「あい」になり、xを減らすことで社会的移動時間を減少できる。以上より、「いき」＝

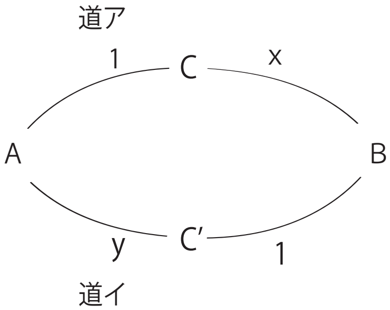
10）以下、問題1の二つの追記、すなわち、「ただし、個人は移動時間が最小になるように行動すると考えてよい」と「なお、社会的厚生は社会的移動時間（社会全体で集計した移動時間）が小さいほど高いと考えよ」は継承されているものと考え、問いの文中では省略する。

「あい」となる$x = 1/2$の時に、社会的移動時間は最小になる。

3.2 主張2：選択できる経路の増加は必ず厚生を改善するのか?

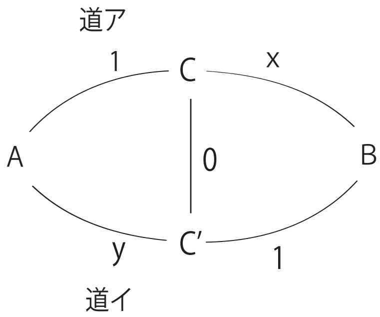
さて、主張2を検討するために、新しい問題を考えよう[10)]。

問題2　地点Aから地点Bへ行くには、二つの道が利用できる。道アを使うと中間の地点Cまでは交通量に関係なく1時間で到着。その後はその道を使う人数をxとすると、x時間かかる。道イを使うと中間の地点C'までは道を使う人数をyとすると、y時間かかる。その後は交通量にかかわらず1時間で到着する。地点Aから地点Bへ移動する人数は全体で1とする。



(1) それぞれが自分で道を選ぶ場合、人々はどのように道を使うか。
(2) 社会的に望ましい道の使い方はどのようなものか。

いま、地点Cと地点C'との間に新たに道ができ、地点Cと地点C'は時間をかけずに移動できるようになるとする。(つまり、地点Cと地点C'は時間距離的には同じ地点とみなせる。)



(3) それぞれが自分で道を選ぶ場合、人々はどのように道を使うか。
(4) 社会的に望ましい道の使い方はどのようなものか。

さて、解答を考えよう。(1) については、道ごとの個人の移動時間のグラフを描くとわかりやすい。

図7について、yを$0 \leq y \leq 1$の範囲で与えて、個人がどちらの道を選択するかを考えると、「人口の半分の人が道アを、残りの半分は道イを選ぶ」ことがわかる。

(2) については、まず、社会的移動時間を計算する。それぞれの道を通る一人当たりの移動時間と人数をかけて、二つの道で合計すると、$(1+x)\cdot x+(1+y)\cdot y$となる。$x = 1 - y$なので、道イを選ぶ人数が$y$の時の社会的移動時間を$S(y)$とすると、

$$\begin{aligned} S(y) &= (1+1-y)\cdot(1-y)+(1+y)\cdot y \\ &= 2\{y^2-y+1\} \\ &= 2\{y-(1/2)\}^2+(3/2) \end{aligned}$$

従って、社会的移動時間を最小にするyの値をy^*とすると、$y^* = 1/2$。

今回も、社会的移動時間を図8から読み取って、その変化を考えることができる。道イを通る人数が

図8の「う」$= y < 1/2$から「う’」$= y + \Delta y$に増加する場合を考えよう。道イを通る人たちの人数が図8の「う」$= y$である時、社会的移動時間 = 道アを通る人たちの移動時間(四角形「あうえお」の面積) + 道イを通る人たちの移動時間（四角形「いうかき」の面積）となる。同様にして、道イを通る人たちの人数が図の「う’」$= y + \Delta y$になると、社会的移動時間 = 四角形「あ’う’えお’」の面積 + 四角形「い’う’かき’」の面積、となる。後者から前者を引くと、道イを通る人が図8の「う」$= y$から「う’」$= y + \Delta y$に増加する場合の社会的移動時間の変化(ΔS) を求めることができる。すなわち、ΔS = 道アを使い続ける人たちの混雑が緩和され移動時間が減少する効果(－四角形「おお’あ’け」の面積) + 道アから道イに変わる人たちの移動時間が減少する効果(－ 四角形「けい’くあ」の面積) +もとから道イを使っている人たちの混雑が増加し移動時間が増加する効果(四角形「くいきき’」の面積) $= -[\{2 - (y + \Delta y)\} - 1]\Delta y - \{(2 - y) - (1 + y + \Delta y)\}\Delta y + y\Delta y$となる。今回は、道アを使い続ける個人の移動時間が混雑によって変化するのが新しい点である。Δyは十分にゼロに近いと考えて$(\Delta y)^2$の項を無視すると、$\Delta S = -(1 - y)\Delta y - (1 - 2y)\Delta y + y\Delta y = (4y - 2)\Delta y$となる。従って、$4y - 2 < 0$なら $\Delta y > 0$とすることでSを減らすことができ、$4y - 2 > 0$なら $\Delta y < 0$とすることで S を減らすことがでる。$4y - 2 = 0$、すなわち、$y = 1/2$ の時に、Sは最小になる。

さて、(3)（4）を考える際には、地点Cと地点C’が時間距離的には同一地点であると考えてよいことを使って、道路地図を図9のように書き直すとわかりやすい。

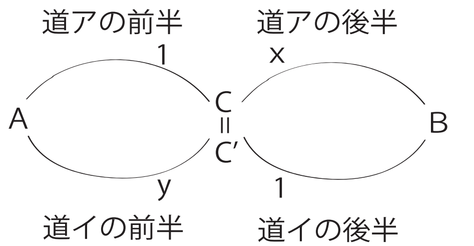


図9　道CC ’があるときの道路地図の書き換え

前に見たような図が、2回連続して登場していることがわかる。A → C = C’とC = C’→ Bは、それぞれ問題1で見た道路地図と同じである。従って、問題1の解答を2回反復すればよいということになる。すなわち、自由に道を選択できる場合、全員がA → C’→ C → Bの経路を選択する。この時、$y = x = 1$。また、社会的に最適な道の利用法は、人口の半分がA → Cを、残りがA → C’を選択、その後、(CC’間で人の移動があってもよいが) 人口の半分がC → Bを、残りはC’→ Bを選択することである。この交通状況は、CC’間に道がなかった時に満たされていた。すなわち、今回の例では、CC’間に道がない時には、人々が自由に道を選択することで、社会的に最適な移動が実現していた。ところが、CC’間に道ができることで混雑が発生し、社会的な移動時間はかえって増大することになっている。

CC’間に道ができた後でも、個人はその道を選ばずに、CC’間の道がなかったころの経路を選択することができる。このことを、確認してみよう。

（問題2前半の図のように）CC’間に道がなかった時、個人が選べる経路は以下の二つであった。

(i) AC+CB

(ii) AC ’+C’B

（問題2後半の図のように）CC’間に道ができると、個人が選べる経路は以下のように増える。（CC’間で何度も行ったり来たりする可能性を無視すると）

（i）AC+CB

（ii）AC’+C’B

（iii）AC+CC’+C’B

（iv）AC’+C’C+CB

初めの二つの経路（i）（ii）は、CC’間に道ができる前後で共通しており、確かに常に選択可能である。その意味で、「CC’間に道ができた後でも、個人はその道を選ばずに、CC’間の道がなかったころの経路を選択することができる」というのは正しい。

ところが、実際、CC’間に道ができると、個人は依然として選択可能な（i）（ii）を選ばず、（iv）を選択する。その結果、個人の移動時間は3/2時間から2時間に増えてしまう。一見、不思議に思えるが、この謎を解くには、道をその物理的な特質、つまり（今の場合）始点と終点だけでなく、その質（混雑に左右される移動時間）を含めて考えることが重要である。道の始点と終点のあとに移動時間を併記してみると、以下のようになる。

CC’間に道がなかった時、個人が選べた経路は、

（i）（AC, 1）+（CB, 1/2）

（ii）（AC’, 1/2）+（C’B, 1）

CC’間に道ができると、個人が選べる経路は（CC’間で何度も行ったり来たりする可能性を無視すると）、

（i）（AC, 1）+（CB, 1）

（ii）（AC’, 1）+（C’B, 1）

（iii）（AC, 1）+（CC’, 0）+（C’B, 1）

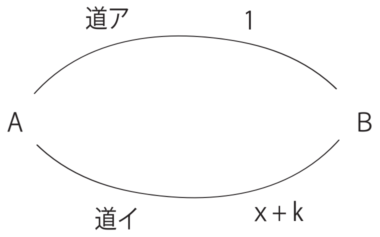
（iv）（AC’, 1）+（C’C, 0）+（CB, 1）

となる。（i）（ii）は、CC’間に道ができる前後で、物理的な道としては同じであるものの、移動時間で指標化した道の質は同じではないことがわかる。つまり、CC’間に道ができることで、道の質が変化しており、道の質を含めた同じ経路を選択することは個人にはできなくなっている。道の質は社会の中で内生的に決まる変数であり、個人には制御できない、ということが重要である。「CC’間に道ができた後でも、個人はその道を選ばずに、CC’間の道がなかったころの経路を選択することができる」という主張は道の質の変化を無視しており、この主張に対しては、「CC’間に道ができることで、人々の行動が変容し、道の質も変わる。その結果、道の質を含めて経路を定義すると、CC’間の道がなかったころと同じ経路を選択することは、個人にとって不可能になっている」と言える。

3.3 主張3：ほぼ無費用でできる有効な道路改修は常に望ましい結果をもたらすのか？

さて、新しい問題に進もう。次の問題の（3）（4）は、先の主張3にかかわる設問である。

問題3　A地点からB地点に移動する問題を考える。AB間には二つの道がある。道アを使うとAB間を1時間で移動できる。道イを使う場合の移動時間は、この道を使う人数に依存し、xの人が道イを利用しているとき移動時間は$x+k$である。ここで、kは$0<k<1$を満たす実数である。AB間を移動する人数は多数であるが（単位を選ぶことで）全体の人数を1とする。



簡単のため、1時間の移動時間は1円の費用にあたると考える。すなわち、道アを使うとき、AB間の一人あたりの移動費用$C_ア$は1円。道イを使う場合の一人あたりの移動費用$C_イ$は、この道を使う人数に依存し、xの人が道イを利用しているとき、$C_イ = x + k$円となる。社会的な移動費用Sは全個人の移動費用を集計した額で定義される。また、各個人は好きなように道を選べる場合には、移動費用が小さい方の道を選んでAB間を移動すると考えてよい。

(1) 社会的な移動費用を最小にするという意味で、社会的に最適な道の使用をもたらすxの値x^*を求めよ。
(2) 各個人が自分の好きなように道を選ぶ場合、実現するxの値を求めよ。また、その状況は経済厚生的にどのように評価できるか。
(3) 社会的に最適な道の使用が実現しているとする。kを低下させることは社会的厚生を改善するか。
(4) 各個人が自分の好きなように道を選んでいるとする。ごく小さな費用$f > 0$をかけて（例えば、道路のでこぼこを直すなどして）$k > 0$を削減するという提案を、あなたは支持するか。あるいは、反対するか。理由を明記して判断を記せ。

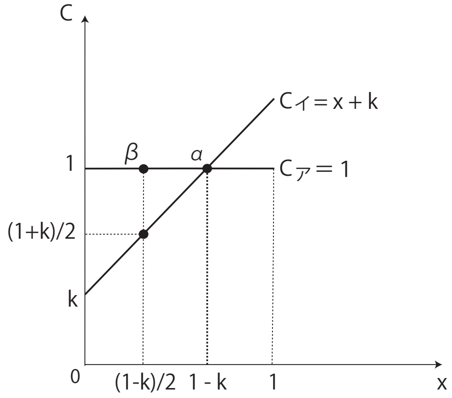


図10　道ごとの個人の移動費用

(1)(2) については、道ごとの個人の移動費用のグラフを描くとわかりやすい[11]。

社会的移動費用を$S(x)$とすると、（今の場合、これは社会的移動時間の値に等しい。）

$$
\begin{aligned}
S(x) &= (x + k) \cdot x + 1 \cdot (1 - x) \\
&= x^2 - (1 - k)x + 1 \\
&= \{x - \frac{1 - k}{2}\}^2 + \frac{1}{4}(3 - k)(k + 1)
\end{aligned}
$$

となるので、$x^* = (1 - k)/2$。個人が自由に道を選ぶ場合のxは、$C_ア = C_イ$として、$x = 1 - k$。この値は$x^* = (1 - k)/2$より大きいので、社会厚生的に見て、道イの過剰な利用が生じている。社会的に最適なx^*は図10のβから下に延びる点線に対応する$x^* = (1 - k)/2$で、個人が自由に道を選べる場合のxは、αの下から延びる点線に対応する$x = 1 - k$である[12]。

11）なお、ここでは、$0 < k < 1$と仮定しているが、$k = 0$なら問題1と同じである。仮に、$k < 0$であれば道イが、$k > 1$であれば道アが、必ず選ばれるので、これらの自明の場合をこの仮定で排除している。

12）例えば、$k = 1/2$とする。全人口が10万人であるとして、道アを選ぶ人が5万人、残りのうち一人を除く49999人が道イを選んでいるとき、最後の一人は道アを選んでも道イを選んでも、移動時間が1になる。従って、この最後の一人には道アと道イのいずれかを選ぶ自由度がある。このことは問題1の場合と同じである。いずれにしても、$x = 1 - k$かその近傍が実現する。

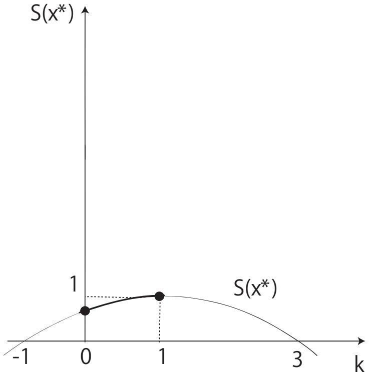


図11　道を最適に利用している際の、k の変化に対する、社会的移動時間の変化

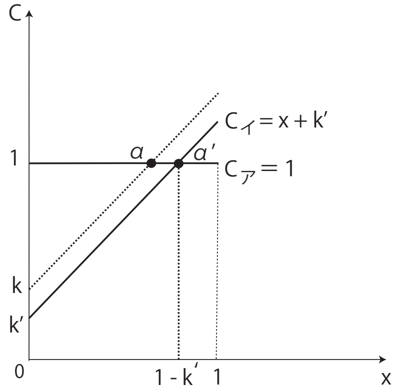


図12　$k' < k$ の下での道ごとの個人の移動費用

(3) については、社会的に最適な道の利用が実現しているとは、$x = x^*$ということなので、$x = x^*$を$S(x)$に代入すると、

$$S(x^*) = \frac{1}{4}(3 - k)(k + 1)$$
$$= -\frac{1}{4}(k - 1)^2 + 1$$

図11が示すように、$S(x^*)$は$0 < k < 1$の範囲で k の増加関数になる。従って、kを削減すると$S(x^*)$を引き下げることができるので、社会的厚生は高まる[13)]。

(4) について、個人が自由に道を選択できる場合、図12のαに対応する当初の状況から、kをわずかに削減して$k' < k$ にすると、道イを通る人の移動費用を表す曲線は下方にシフトする。しかし、道イを選ぶ人が増えるため、結局、新たなk' の下でも、図12のα' が実現し、二つの道を通る人の移動費用は同じ1円になる。この値は当初のαにおける移動費用と変わらないので、費やした金額$f > 0$ が無駄になっている。従って、提案には反対である。(続く。参考文献はⅡに掲載。)

13) もちろん、$S(x^*)$を微分して、$0 < k < 1$であるkについて $dS(x^*)/dk = (1/2)(1 - k) > 0$を示しても良い。