

# 中学校における都市内交通ネットワークを題材とした授業開発

## —「千葉都市モノレール建設ゲーム」を導入して—

### Development of Teaching about Urban Traffic Networks in Junior High School

#### - Using of “Chiba Urban Monorail Construction Game” -

太田 貴之<sup>1)</sup>

Takayuki OHTA

20世紀末になり、グラフ理論に立脚したネットワーク科学は、コンピュータの発達やネットワーク研究に関わる人物の牽引により大きく発展した。ネットワーク科学は、交通、物流、情報通信、人間関係、生態系など社会に存在する様々なネットワークの解析に応用されている。学校教育において、ネットワーク科学が社会の諸現象に応用されていることを学習するのは意義があることだと考えられる。本研究では、ネットワークの一つとして都市内交通ネットワークを取り上げ、シミュレーション学習を取り入れた授業プランを作成した。そして、その授業を中学校の選択教科にて実践し、その有効性と課題を明らかにした。研究の結果、都市内交通ネットワークやネットワーク科学の社会への応用について、本授業が生徒に関心を深めさせたり、理解させたりすることに寄与したことが明らかになった<sup>1)</sup>。

キーワード：ネットワーク、シミュレーション学習、都市交通、交通計画、千葉都市モノレール、授業開発

## 1. 問題の所在

### 1.1. グラフ理論やネットワーク科学を中学生が学習する意義

18世紀以降のグラフ理論<sup>2)</sup>に立脚して、ネットワーク科学<sup>3)</sup>は発展した。

グラフ理論の始まりは18世紀の数学者レオンハルト・オイラーに帰せられる。しかし、その後すぐには大きな進展が見られなかった。約200年後の20世紀末になり、コンピュータの発達やネットワーク研究に関わる人物<sup>4)</sup>の牽引により、グラフ理論は発展し、複雑なネットワークの解析ができるようになった。

現在、ネットワーク科学は、社会の様々な諸問題を解決するのに応用されている。例えば、交通ネットワーク、人間関係のネットワーク、通信ネットワークがあげられる。それらは、私たちの生活に関わるものである。右田・今野（2011）は次のように述べている<sup>5)</sup>。

ネットワークの科学は、人々の社会的なつながりのネットワーク、伝染病の感染、インターネット、

生態系など、われわれにとって身近な現象を対象としています。

そして、重要な情報のもたらされ方、社会的な脅威である伝染病の予防、ネット社会のセキュリティなどにおいて、新しい観点からの解決法を示唆してくれます。

このようにネットワーク科学は、様々な学問分野に広く応用されており、中学生を含め一般人にも関係する現象を対象としている。そのため、ネットワーク科学の社会的諸現象への応用について学習することは、中学生にとって意義のあることだと考えられる。同時にネットワーク科学の基礎であるグラフ理論の基本的な考え方を学習することも意義があると思われる。

では、グラフ理論やネットワークについて学習する単元はあるのだろうか。中学校学習指導要領<sup>6)</sup>によると、社会科の地理的分野では、交通・通信ネットワークの発達や現状について学習する単元がある。だが、グラフ理論やネットワーク科学について詳しく触れられない。

### 1.2. グラフ理論やネットワーク科学について扱った授業の先行実践

学習指導要領ではグラフ理論やネットワーク科学に

<sup>1)</sup> 千葉大学教育学部中学校教員養成課程

Junior High School Teachers Training Course, Faculty of Education, Chiba University

ついて扱われていないが、以下で 2 つの先行実践について検討する。

1 つ目に、グラフ理論について扱った TOSS<sup>7</sup>の実践である<sup>8</sup>。これは中学 3 年生の選択数学の授業である。1 時間扱いの授業で、一筆書きができる条件<sup>9</sup>、地図の塗り分けの活動、四色定理<sup>10</sup>、野球のリーグ戦の試合数の求め方を扱っている。授業の最後にはグラフ理論が地下鉄の路線図や電気の回路図など、いろいろな場面で応用されていることに触れている。この授業ではグラフ理論についての基礎的な説明と簡単な応用例を扱っている。中学生にとってはあまり知らないであろうグラフ理論やその応用例について触れられていて、学習内容への興味が高まりそうな授業構成である。ただ、1 時間のなかに、一筆書きの条件、四色定理、リーグ戦の試合数の求め方など様々な内容を扱っているの、一つひとつの内容については深く扱われていないと思われる。

2 つ目に、上越教育大学附属中学校の数学教諭である小池克行の実践を 2 つ取り上げる<sup>11</sup>。まず、2011 年 7 月に公開研究会で実践された 2 年数学の授業である。この授業は、街中での経路を題材にグラフ理論を扱っている。身近な例をもとに授業を構成しており、生徒がグラフ理論に興味を持てるような授業内容となっている。

次に、2011 年 10 月に教育研究協議会で実践された 3 年数学の授業である<sup>12</sup>。この授業は「社会で生きるおいらのグラフ理論 ―グラフ理論で解き明かせ―」というタイトルで実践された。授業の参観者は「生徒が大変意欲的に取り組んでいました。課題学習ということでしたが、生徒がどのように考え、これを発展させていくのか大変興味深いです」や「雪や地震の多い地域ならではの題材であり、実生活に結びついた教材です」と感想を述べている。この実践ではグラフ理論を実生活に結びつけて、課題学習を行ったことが分かる。

実生活と学校教育を結びつけることに関しては、柴田(2006)が「生活から発生し、生活の要求から生まれた学校の教育が、生活との緊密な結びつきを必要とするのは、当然のこと言えよう」と述べている<sup>13</sup>。

以上より、グラフ理論やネットワーク科学を授業で扱う際、実生活と結びついた応用例を用いることが有効であるということが示唆される。

### 1.3. 都市内交通ネットワークを授業で扱う意義

では、グラフ理論やネットワーク科学を題材に授業を行うとき、どのような内容を扱うことができるだろうか。その一つとして、都市内交通ネットワークをあげることができる。

日本では、高度経済成長期に急速にモータリゼーション(車社会化)が進んだ。人々の多くが自動車を保有するようになると、自動車でしか行けないような郊外部に

大型のショッピングセンターやロードサイドショップなどの商業施設が増加し、自動車は人間生活に不可欠なものとなった<sup>14</sup>。

だが、次第にモータリゼーションの進展による様々の問題が指摘されるようになった。例えば、排出ガスによる環境問題、道路の渋滞、交通事故の増加があげられる。また、車社会が進むにつれて、人々は郊外部に移り住むようになり、郊外部のスプロール化(無秩序な開発)が起きた。一方で、都市中心部は居住人口が減少し、商業施設も衰退した。

これらの状況に対して、市川(2002)は以下のように述べている<sup>15</sup>。

こうした悪循環を前に、世界中の都市が今、その温床となってきたクルマに過度に依存した現在の都市構造の見直しを迫られている。そのため求められているのが、スプロールに歯止めをかける成長管理的な土地利用である「サステナブル(持続可能な)まちづくり」(Sustainable City)であり、そのための前提として中心部など既成市街地の土地利用の密度を上げる「コンパクトなまちづくり」(Compact Town Compact City)の考え方である。つまり、それまでのクルマ社会を前提にスプロールの道を突き進んできた都市構造からのパラダイムシフト(枠組みからの転換)が要請されているのである。

つまり、都市交通で求められているのは移動手段としてのクルマへの過度の脱却であり、公共交通や自転車、徒歩など他の交通手段との「すみわけの思想」である。その意味で、公共交通や自転車などは「Sustainable Transport」(持続可能な交通)として認識される。

上述の様々な問題を解決するためには、自動車への依存から脱却し、公共交通や自転車、徒歩などへ交通手段を転換する必要があることが述べられている。また、「コンパクトなまちづくり」を進め、公共交通を整備し、都市の中心部を活性化させることが求められている。こうした動きがあり近年、LRT などの新たな公共交通が導入されたり、公共交通ネットワークを充実させたりする試みが行われている<sup>16</sup>。

このように、現代社会では都市内の交通ネットワークを見直す必要が提唱され、各地で動き始めている<sup>17</sup>。車社会から生じた様々な問題を解決するために、現代的な課題として都市内の交通ネットワークについて考える必要があると思われる。特に昨今、新たな公共交通が導入されたり、現在ある公共交通を拡充したりする動きが出ているため、交通機関の交通計画や市民にとっての交

通ネットワークの役割について学習する必要があると考える。

#### 1.4. 地理教育とシミュレーション学習

都市内交通ネットワークを授業で扱うとき、地理の授業で扱うことができると考えられる。地理の授業では、様々な教育方法が実践されている。例として野外調査、範例学習、事例学習、シミュレーション学習、問題解決学習などがあげられる。これらのうち、シミュレーション学習の意義について、村山（2003）は2点あげている<sup>18</sup>。

シミュレーション学習の第一の意義は、体験的理解が得られることにある。直接観察や体験が教育上有効であることには、議論の余地はない。しかし、現実社会を対象にする地理教育では、直接観察や体験を通じて事象を理解させることのできる事例は限られる。行為に対しての結果が判明するまで、1年あるいはそれ以上の時間を要する事例は多いし、政治的・経済的見地から行為そのものが不可能である事例は数知れない。模擬的に体験することを通じて、地理の基礎概念の獲得は容易になるし、実際に作業過程で与えられた資料から地理情報を読み取る技能が育成される。

1つ目の意義として、体験的な理解が得られることをあげている。地理学習では、実際に学校の外にフィールドワークを行うこともあるが、それができる学習活動内容は限られてしまう。だが、シミュレーション教材を使用することによって、フィールドワークを行わなくても体験的な理解を伴って学習することができる。また、長時間を要する事象も、シミュレーション教材を使用することによって、1時間～数時間の授業で理解することができる。これらの特徴を考えると、地理学習においてシミュレーション教材を用いて学習する意義は大きいと思われる。さらに村山は次のように述べている。

第二の意義は、学習の過程において、学習者の主体的な活動と意思決定を要求する点にある。教材そのものは、多かれ少なかれ統制されてはいる。しかし、学習者の作業活動がなければ学習を進めることはできない。学習を進めていくうちに、自然と社会的事象についての理解を深めていくように設計されている。また、シミュレーション教材の持つゲーム性、すなわち娯楽あるいは競技的な要素は、主体的な学習を進めるための隠された装置ということもできる。ゲーム性は、意思決定においても重要な役割を持つ。模擬的な条件下とはいえ、学習者は与

えられた条件の中から考える最適な方法を考え、それに沿って行動する。その結果がゲームの中で「勝敗」などとして表現される。つまり、シミュレーション学習は態度育成や問題解決能力の育成において重要な役割を果たすと考えられる。

シミュレーション教材によって生徒は主体的な学習活動を行うことができる。また、意思決定力の育成もできる。山口他（1993）は意思決定力の育成について、「現代の社会において、ある問題状況に出くわした時、的確な意思決定ができるか否かはきわめて大切なことである」と述べており<sup>19</sup>、意思決定力を養えるのはシミュレーション教材の長所といえる。また、娯楽や競争性を伴うため、学習者は楽しみながら学習することもできる。これは、学習者の学習意欲向上につながると思われる。以上より、地理学習において、シミュレーション教材を導入することは学習の効果上意義があることが分かる。

#### 1.5. 地理教育にシミュレーション教材を導入した先行実践

では、地理教育にシミュレーション教材を導入した先行実践にはどのようなものがあるのだろうか。山口（1999）によると、シミュレーション教材は建設行動に関するものと生活行動に関するものの2つに分けられる<sup>20</sup>。建設行動に関するものの教材内容としては、工場の立地を決定するものや交通のルートを選定するものなどがあげられる。一方、生活行動に関するものの教材内容としては、農林水産業の収穫量や労働者・消費者の行動を予測するものがあげられる。ここでは、交通のルートを選定する先行実践を2つ検討したい<sup>21</sup>。

1つ目に、山口が1993年に開発した小・中学生向け教材「北海道鉄道建設ゲーム」である。これは、児童生徒が北海道鉄道開発長官になり、札幌から釧路までできるだけ安い費用で建設していくという教材である。

教材の工夫としてあげられることは、鉄道建設に関する自然的条件と社会的条件の2点を考慮していることである。自然的条件としては標高を取り上げ、標高の高い場所を通るときは費用が高くなるように設定してある。また、社会的条件としては都市を取り上げ、都市を通るときには収益的に有利になるため、費用が差し引かれるように設定してある。費用が差し引かれる都市は、北海道という地域を題材としているため、人口が多い大都市・小都市の他に、炭鉱都市を設定している。このように教材のなかにその地域独自の要素を入れることにより、地誌学習としても利用できるようになっている。

またこの教材は、サイコロなどを必要とせず、偶然性に影響されないが、条件が少ない分、ルールを理解するのが容易であることが長所としてあげられる。

2つ目に、杉浦和義<sup>22</sup>が高等学校の地理で実施した「外環道ルートをつくる」である。これは当時、建設省が計画していた東京外環道のルートを生徒に考えさせるものである。「北海道鉄道建設ゲーム」と異なり、これはまだ実現していない未来の事象を扱っている。また、建設費用の条件以外に地域住民の意見を考慮に入れるという条件が取り入れられている。そして、生徒の自宅や学校がある地域の問題を題材としているのもポイントである。地域の問題を題材としたことについて、杉浦は以下のように述べている。

このような地域の課題について、社会科<sup>23</sup>あるいは地理の学習教材として扱う場合、生徒が主体となるような学習形態が必要とされる。これについては賛否についてのディスカッション、あるいはディベートという方法があるが、ルート設定というシミュレーションの手法は、より地理的な方法であると考えられる。

地理的な地域の問題について議論するときは、シミュレーションは有効であると述べている。また、杉浦は授業後の生徒の感想に関して、地域の問題を考えることについての記述が多かったと述べており、生徒は自分たちの地域の問題として、より深く考えたことがわかる。これより、シミュレーション教材の題材として、生徒の身近な地域を扱うことは意義があると考えられる。

2つの先行実践から、都市内交通ネットワークを題材にした公共交通のルート選定のシミュレーション教材を作成するとき有効となるポイントを2つ述べる。

第一に、交通のルート選定をシミュレーションするとき、同時にルート選定以外の見識を子どもに与えることが可能だということである。「北海道鉄道建設ゲーム」では、北海道の鉄道のルート選定をシミュレーションするが、同時にどの地点に都市や山地山脈が存在するのか、鉄道路線と炭鉱との関連など別の事項も学習することができる。教材に様々な要素を入れることで、同時に複数の事項を学習することができると考えられる。

第二に、生徒の身近な地域を題材にすることである。「外環道ルートをつくる」では、生徒の身近な地域の問題を題材として扱うことによって、生徒が問題をより深く考えたことが分かった。シミュレーション教材は、現実世界の構造を何らかの方法で抽象化、単純化するものなので、必ずしも地域の教材を扱う必要はない。だが、地域の問題を題材にすることにより、生徒は問題をより深く考えることになり、身近な地域の学習にもつながると考えられる。

以上のことをふまえて、都市内交通ネットワークの性質や役割が理解できるようなシミュレーション教材を

開発する必要があると思われる。その際、シミュレーションを行うことによって、生徒がグラフ理論やネットワーク科学に興味を持ったり、理解を深めたりするように教材を工夫することが重要だと考える。

## 2. 研究の目的と方法

本研究の目的は、シミュレーション教材を開発し、公共交通のルート選定、都市内交通ネットワークの性質や役割、および関連するグラフ理論やネットワーク科学の社会への応用について扱った授業単元を作成し、中学校で実践することで、その有効性と課題を明らかにすることである。

今回は、千葉大学教育学部附属中学校の3年生選択教科「社会とつながる数学」を受講している20名を対象に授業を行う。授業中の生徒の実際の様子、生徒によるアンケートの記述<sup>24</sup>を中心に取り上げることで、授業を考察する。

## 3. シミュレーション教材の開発

### 3.1. シミュレーション教材の制作

本研究では、シミュレーション教材「千葉都市モノレール建設ゲーム」を開発し、授業で使用した（資料1、資料2）。

シミュレーション教材の題材として千葉都市モノレール<sup>25</sup>を取り上げたのは、千葉市に通学する生徒にとって身近な地域の交通だと考えたからである。本教材は、千葉市の臨海部「千葉みなと」から内陸団地のある「千城台」までの千葉都市モノレールの路線を、総費用が最小になるように建設していくゲーム教材である。

本教材はマップ（地図）上での手作業によりシミュレーションを行う。そのため、マップの中にモノレール建設に関する適切なミッション（ゲームの進め方）と諸条件を設定した。なお、ミッションと諸条件を設定するにあたっては、文献調査<sup>26</sup>の後、千葉市役所にて交通政策課の職員に、ルート選定を含めた開業までの経緯について直接取材を行った。

本教材は、シミュレーション教材であるので、数値や作業は実際のものよりも簡略化したものになる。しかし、当時の千葉市交通政策課の職員がどのようにルートを計画し、開業にまで至ったのかをできるだけ再現できるように、ミッションは以下の3点を設定した。

- (1) 今後発展が見込まれる臨海部の「千葉みなと」から、内陸団地がある「千城台」までのモノレールのルートを建設費用や乗客収入を考慮して、できるだけ総費用が安くなるように計画せよ。

- (2) ルート上の必要な地点に駅を配置せよ。
- (3) 一度にすべてのルートを開通させることは時間的、予算的に不可能なので、計画したルートを大きく3つに分けて、どの順番に開通させるか考えよ。

これらの3つのミッションについて、当時の様子をできるだけ再現されるように教材を作成することが重要だと考えた。また、当時の千葉市交通政策課の職員は一人でルートを計画したのではなく、チームでルートを計画したということ considering、本教材は4人程度のグループで協力しながらミッションをクリアしていくことを想定して作成した。

まず、マップの素地を作成するところから始めた。マップの作成にはMicrosoft Excel 2010を使用し、用紙のサイズはA3とした。まず、縦24行、横35列のセルを縦横40ピクセルずつの大きさの正方形に設定し、スクエア状(正方形のマス目)の地図とした。ただし、マップ左下の部分は東京湾にあたるため、マップからは取り除いた。1つのスクエアの大きさは縦横とも実際の大きさを300mほどである。

その後、道路地図を参照し、マップ上に国道、JR線、京成線、必要な駅(起終点となる千葉みなと駅、千城台駅を含む)を設置した。他の交通ネットワークをマップ上に設置したのは、千葉都市モノレールが市内の効率的な公共交通ネットワークの一つになるという課題を千葉市が掲げており、他の交通との関係を考える必要があるからである。生徒には他の交通ネットワークをマップに載せることで、モノレールと他の交通の共通点や相違点を考えさせたい。また、この教材に関連させて、ネットワーク科学の社会への応用について授業で触れるので、マップにはモノレールの単一路線だけではなく、他の交通ネットワークも示されていた方がよいと考えた。

次に、マップに諸条件を設定した。モノレールを建設する際には、建設費用と乗客収入の大きく2点を条件として考慮しなければならない。建設費用をできるだけ安くする必要があるが、乗降客数が多い地点に駅を配置することで、利用者にとっての利便性が高まり、多くの収入(乗客収入)が見込まれるためである。

本来は都市の地形や土壌、地質にも考慮する必要があるが、千葉市はモノレールを建設する際に、大きく影響を受けるような特殊な地形や土壌、地質はないと判断して、今回は条件から外した。

具体的には以下のように設定した。

第一に、建設費用についてである。建設費用は建設距離に比例して高まる。今回のシミュレーションでは全8方向に線を引くことができるようにした。縦横に線を引くときはスクエアの線上に線を引く。斜めに線を引くときは、格子点から右上、左上、右下、左下方向にある格

子点に線を引く。建設費用は縦横に1区間線を引くときにかかる建設費用を計算しやすくするために10ポイントと設定した。また、斜めに線を引くときは縦横に線を引くときの $\sqrt{2}$ 倍(≒1.4倍)の長さになるため、斜めに1区間線を引くときの建設費用は14ポイントとした。

第二に、乗客収入である。実際に千葉都市モノレールを建設する際には、他の交通機関との乗り換えの利便性が確保される地点と乗降客数が多く見込める地点に駅が配置された。そこで、本教材では他の鉄道路線と乗り換えできる大型駅・中型駅に重ねて駅を配置した場合、乗客収入として大型駅(千葉駅)では80ポイント、中型駅(都賀駅、稲毛駅)では50ポイントが費用から差し引かれるように設定した。

また、比較的乗降客数が見込まれる地点にはマップ中に12個の乗客収入ゾーンを設定し、その中に駅を配置した場合には20~50ポイントの費用が差し引かれるようにした。ゾーンの大きさは、乗降客数が多いと思われる面積に応じて決定した<sup>27</sup>。ただし、各ゾーン内には1駅しか設置できないようにルールを設定した。ポイントを設定するとき、現在開通している千葉みなと~千城台のルートが、建設費用から乗客収入を差し引いた総費用で最も安くなるようにポイントを調整した。

以上のように、建設費用から乗客収入を差し引くと、総費用を計算できるようにした。このように総費用を算出させ、いかに安いコストで計画するかをシミュレーションさせることによって、ゲーム性を組み込むことにした。ゲーム性を教材に取り入れることにより、生徒がより熱心にシミュレーションを行うと考えた。

本教材のねらいは以下の2つである。

第一に、公共交通のルート選定や都市内交通ネットワークの性質や役割について、シミュレーションを通して理解することである。第二に、生徒にとって身近な地域の交通を取り扱うことで、地域の交通について関心を深めることである。

### 3.2. シミュレーション教材の解説

本教材の解説として、授業を行う際の指導上の留意点について述べていきたい。はじめに、3つのミッションに関する指導上の留意点について記述する。

まず、ミッション(1)についての指導上の留意点である。千葉みなとから千城台までのルートを引く際、建設費用と乗客収入を考慮してルートを考えることになる。乗客収入の得られる大型駅は1個、中型駅は2個、乗客収入ゾーンは12個がマップ上に点在する。そのため、ルートは複数考えられる。

最小費用ルート(以下、正解ルート)となるのは、千葉みなと - 市役所ゾーン - 千葉駅 - 千葉公園ゾーン - 穴川・園生ゾーン - 総合運動場ゾーン - 動物公園ゾーン

- みつわ台団地ゾーン - 都賀駅 - 小倉台団地ゾーン - 千城台団地ゾーン - 千城台のルートである。

この場合は、建設費用が 414 ポイント (10 ポイント×26、14 ポイント×11)、乗客収入が 360 ポイントで、総費用は 54 ポイントとなる。これは、現在開通している千葉みなと～千城台のルートである。当時の千葉市交通政策課も本教材と同じようにルートを考え、その結果が現在開通しているルートのため、正解ルートは現在開通しているルートと同じになるように設定した。授業を行う際には、シミュレーション終了後に、正解ルートが現在開通しているルートと同じであることを生徒に伝える必要があると考えられる。

正解ルートの他に考えられるルートには大きく分けて 3 パターンある。1 つ目は、千葉駅から大宮団地ゾーンを通るパターンである。2 つ目は、千葉駅から千葉公園ゾーンを通りできるだけ距離が短くなるように通るパターンである。3 つ目は、千葉駅から稲毛駅を通るパターンである。それぞれのパターンについて、細かく分けるとさらに複数のルートが考えられるが、いずれも建設費用から乗客収入を差し引いた総費用は正解ルートよりも高くなる。

なお、1976 年に作成されたマスタープラン<sup>28</sup>では、大宮団地を通るルートや、スポーツセンターから稲毛駅を経由して、稲毛海岸駅方面へ伸びるルートも計画されているため、シミュレーション終了後に生徒に解説する必要があると考えられる。

上記のように本教材では、1 つの正解ルートに対して、その他の様々なルートが考えられる。シミュレーションを行う際には、生徒が勘のみに頼って闇雲に計算を行うのではなく、考えられるルート一つ一つに対してきちんと計算を行うことが求められる。実際の千葉市交通政策課は勘に頼ってルートを計画したわけではないからである。授業の時間は限られているが、本教材は 4 人程度のグループで協力してシミュレーションを行うことを想定しているため、適切に役割分担をすることで有効に時間を使うことができると思われる。場合によって、授業者は生徒にグループ内で適切な役割分担をしたほうがよいということを助言する必要がある。

また、建設費用や乗客費用を計算する際には、手計算と電卓による計算の二つの方法が考えられる。中学生の段階ならば、どちらの方法を利用しても計算可能であるが、生徒の実態や授業時間を考慮して、適切に選択するのがよいと思われる。

なお、本教材では分岐するルートや環状ルートは作ってはいけないというルールを設定した。これは、このようなルールを設定することで、考えられるルートのパターンを制限し、シミュレーションを簡略化するためである。だが実際には千葉駅で 1 号線と 2 号線が分岐して

いたり、マスタープランの段階では環状線が計画されていたりする。そのため、実際のモノレールでは分岐のルートや環状ルートを作ることはできるが今回は作らないことをルール説明の際に補足する必要がある。また、実際に千葉駅で分岐していたり、マスタープランで環状線が計画されていたりすることは、シミュレーション終了後に生徒に解説する必要があると考えられる。

次にミッション (2) についての指導上の留意点である。本教材では、配置する駅数はミッション (1) で計画したルートの距離に応じて決まることとした。現在開通している実際の千葉みなと～千城台のルートには、千葉みなと駅と千城台駅を含めて 15 駅ある。実際のルートと本教材の正解ルートは同じなので、正解ルートの駅数を 15 駅とした。そして、正解ルートは建設費用が 414 ポイントなので、401～450 ポイントにおける駅数を 15 駅と定め、そこから 50 ポイント増えるごとに駅数を 1 つずつ増やし、逆に 50 ポイント減るごとに駅数を 1 つずつ減らすことにした。

距離に応じた駅数を授業者側から設定するのには 2 つの理由がある。まず、1 つ目として、駅数を決めておかないと、生徒がどの程度の駅数を配置すればよいのか分かりにくいと考えたからである。マップ中には JR 線や京成線などの他の路線とそれらの駅も描かれており、それらの駅間距離を参考に駅を配置できる生徒もいるかもしれない。だが、モノレールのような都市内交通は、JR 線や京成線などの都市間交通に比べ、駅間が狭いため、この知識を知っていないと適切に駅を配置するのは難しい。また、生徒が自らの感覚を頼りに適切な駅間距離を考え、駅数を導き出すこともできるかもしれないが、活動が複雑になってしまうと思われる。

2 つ目として、実際に決められた駅数を配置する作業を通して、生徒が JR 線や京成線など他の鉄道路線の駅間距離との違いに気づいてほしいと考えたからである。本教材で設定した駅数は、実際のモノレールの駅間距離を考慮している。よって、駅間距離を考えて、バランスよく駅を配置していくと、JR 線や京成線の駅間距離に比べて、モノレールの駅間距離は狭いことに気づく。この気づきは、千葉都市モノレールと JR 線・京成線の役割の違いの話に発展する重要な気づきとなる。千葉都市モノレールと JR 線・京成線の駅間距離と役割の違いについては、シミュレーション終了後に生徒に解説する必要があると思われる。上記 2 つの理由により、駅数はあらかじめ設定することにした。

次にミッション (3) についての指導上の留意点である。このミッションでは、開通年度を 1988 年、1991 年、1995 年の 3 つに設定した。実際の千葉みなと～千城台のルートが 3 区間に分かれてこれらの年に開通したため、このように設定した<sup>29</sup>。このミッションでは、

数少ない情報から 3 区間の開通順序を生徒に決定させるため、生徒だけで適切に開通順序と区間を考えることは難しい。ミッション (1) (2) までの解答を示した後で、授業者が選択肢を与え、生徒に考えさせることも有効だと思われる<sup>30</sup>。

次に、本教材を用いて生徒が活動を行う際の全般的な留意点について述べる。

本教材は 3 つのミッションに対して、様々な条件が設定されており、それに伴うルールも複雑である。もちろん、シミュレーション活動に生徒が入る前に、ゲームのねらい、ミッション、ルールが書かれた説明文をマップと照らし合わせて読む必要があるが、シミュレーション活動中も生徒が適切にシミュレーションを行えているか、授業者が確認する必要がある。

また、シミュレーションが一通り終わった後、シミュレーションを行ってどのようなことが分かったのかについて生徒に考えさせることが必要である。これについては、考えさせる内容が2つあると思われる。1つ目は、モノレールのルートの計画や駅の配置についてである。これはミッション (1) (2) に直接関わる内容で、このシミュレーションの本質的な部分について問うものである。2つ目は、千葉市の交通全体やモノレールと他の交通ネットワークとの関係性についてである。ミッションを行う過程で、あるいはミッションを終えた後、生徒はマップ全体の交通ネットワークとの関係や他の交通との共通点、相違点について考えることができる。ミッションに直接関わる場所ではないが、この授業はネットワークに重心を置いた授業であるため、このような内容は重要であると考えられる。

## 4. 授業の実際と考察

### 4.1. 授業実践の概要

授業の概要は以下の通りである。

実施校：千葉大学教育学部附属中学校
教科：数学（選択教科） <sup>31</sup>
学年：中学3年生12名 (男子10名、女子2名)
時間：45分×2
実施日：1時間目 平成24年9月26日（水） 2時間目 平成24年10月3日（水）
授業者：1時間目 太田貴之 2時間目 太田貴之、小池翔太 <sup>32</sup> （一部）

上記のように本授業は、3年生前期の選択教科（数学）「社会とつながる数学」のカリキュラムの中で行った。「社会とつながる数学」は、2011年4月より千葉大学

教育学部授業実践開発研究室<sup>33</sup>のメンバーが中心となって担当している講座である。

なお、本授業は数学よりも社会科の側面が強い授業だが、数学とも結びつきがある内容であるため、本講座で実施した。なお、生徒には授業前に社会科の側面が強い授業であることを伝えた。

授業の流れを、以下表1に示す。

表1 授業の流れ

時間	内容（1時間目）
10分	千葉市の交通ネットワークと千葉都市モノレールについての話
10分	シミュレーションの説明
25分	班ごとのシミュレーション
時間	内容（2時間目）
23分	班ごとのシミュレーション <sup>34</sup>
10分	シミュレーションを通して分かったことをワークシートに記入・発表
4分	千葉都市モノレール建設の歴史についての解説
4分	グラフ理論や最適化問題 <sup>35</sup> についての解説
4分	事後アンケート記入

### 4.2. 授業の実際と考察

ここからは、授業における生徒の実際の様子、生徒のアンケートの記述、授業後の授業者の反省から授業を考察していく。

なお、以下では生徒をアルファベットで表す。生徒 E、F は女子、その他の生徒は男子である。班分け後は、生徒 A、B、C、D が 1 班、生徒 E、F、G、H が 2 班、生徒 I、J、K、L が 3 班とした。

#### (1) 千葉市の交通ネットワークと千葉都市モノレールについての話

この部分は授業の導入部分である。ここでは、2 点の動機づけを行った。1 点目は、千葉市には様々な交通があり、それらにより交通ネットワークが作られているのを知ることである。2 点目は、シミュレーション教材の題材になっている千葉都市モノレールについて興味を持つことである。

1 点目については、シミュレーションを行う際に、単に建設費用と乗客収入だけに着目してシミュレーションを行うのではなく、モノレールが他の交通と交通ネットワークを形成していることや、ネットワークの中でモノレールが果たしている役割について考えてもらうために取り入れた。本授業では、附属中学校から QVC マリンフィールドまでの行き方が複数あることに着目した。授業者は、附属中学校から QVC マリンフィールド

までの行き方について生徒に発問した。生徒 2 名は以下のように答えた。

B「稲毛駅からバスで直通」

L「蘇我まで行って、京葉線に乗って、海浜幕張で降りて歩く」

B と L からは、それぞれ鉄道とバスという違う回答が得られた。これにより、千葉市は様々な交通により、交通ネットワークが作られていることが確認できた。このことは、2 時間目、シミュレーション後に記入するワークシートで「千葉市の交通全体や他の交通ネットワークとの関係について分かったこと、気づいたこと」について記述する設問があるが、その設問を考える際につながらずと考えられる。

2 点目については、シミュレーション教材の題材として千葉都市モノレールを扱うため、興味を持ってもらうことを目的に取り入れた。シミュレーションではルートを計画するため、それに関連して実際の千葉都市モノレールのルートは懸垂式モノレール世界最長であることを伝えた。

千葉都市モノレールが懸垂式モノレール世界最長であると知っている人はいなかったようで、説明したときに生徒が興味深そうに聞いていたり、J が「なるほど」と発言したりしたこと、生徒に興味を持たせることができたと考えられる。上記のように、導入部分に取り入れた 2 点については、生徒に動機づけをすることに一定の成果があったと考えられる。

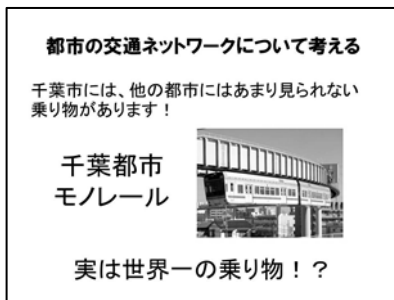


図 1 千葉都市モノレールについて説明したスライド

## (2) シミュレーションの説明

ここでは、授業者が「千葉都市モノレール建設ゲーム」のミッションやルールの説明を行った。「千葉都市モノレール建設ゲーム」では、建設費用や乗客収入の計算方法、駅の配置方法などの独自のルールがあり、ある程度説明が長くなることは仕方がないと授業構想の段階で考えていた。実際の授業では説明に 7 分費やした。

では、生徒は一方的な説明できちんとルールが把握できたのだろうか。事後アンケートの「シミュレーション

のルールを簡単に理解できましたか？」では、生徒は以下のように回答している（表 2）。

表 2 シミュレーションのルールを簡単に理解できましたか？

	人数
①簡単に理解できた	4 人
②ほぼ理解できたが、一部分かりにくい部分があった	7 人
③あまり簡単には理解できなかった	1 人
④理解するのが難しかった	0 人

以上のように、生徒 12 名のうち 11 名が「簡単に理解できた」あるいは「ほぼ理解できたが、一部分かりにくい部分があった」とルールの理解について肯定的な回答をしており、ほぼルールが理解されたことが分かった。しかし、一部分かりにくい部分が残ったことや、1 名が「あまり簡単には理解できなかった」と回答したことは課題である。時間を取ってでも、授業者からの説明に終わらず、シミュレーションの練習などの別の方法を取り入れた方がよいことが示唆される。

シミュレーションの説明後、12 名の生徒を 4 人ずつに班分けし、班ごとの活動に移った<sup>36</sup>。

## (3) 班ごとのシミュレーション

次に、本授業の中心的活動である班ごとのシミュレーション活動について記述する。シミュレーション活動は、1 時間目後半から 2 時間目前半にまたがっているが、本節でまとめて論じる。シミュレーション活動では、3 班あるうち、1 班と 2 班の活動の様子を抽出して記述する。

まず 1 班のシミュレーション活動について記述する。1 班はシミュレーションを開始したとき、最初はあまり集中していなかった。実際のシミュレーションの様子は以下の通りである。

C、D はシミュレーションへの意欲があまり起こらないのか、電卓で遊んだり、雑談したりしていた。あまり集中できていないようだった。5 分ほどして、C、D の前に座っている A、B が電卓を取りあげて、本格的にシミュレーションを開始した。

生徒 C と D は同じクラスであり、授業開始時となり同士で座っていたため、仲がよいと思われる。よって、班ごとに活動を行うとき、雑談してしまったのだと考えられる。一方、A と B は各自で作業を進めていた。

1 班は班で協力して作業を行うことはせず、各自で作業を進めていた。本授業では、1 時間目の後半と 2 時間目の前半で約 40 分をシミュレーションの時間に充てて



いたが、この時間でミッションを行うためには、4人で話し合いを行い、役割分担を行わないと終わらなくなってしまう。例えば、4人いる場合、まず話し合いを行い、4つ程度のルートのパターンを考えだし、それぞれのパターンについて各自が計算することが効率的だと考えられる。だが、4人が話し合いを行わず、各自で作業を進めてしまうと、似たルートを複数の人が計算してしまったり、別のルートは誰も計算しなかったりということが起きてしまう。これでは、作業が終わらなくなってしまう可能性が高い。そこで、授業者は『いろいろなルートが考えられるので、班で分担しながら効率よく考えて進めてほしいと思います』と助言した。

助言後にいったんは話し合いを行ったものの、すぐに各自の作業に戻ってしまった。班で協力して作業を行おうとしたものの、どのように役割分担をしたらよいか分からなかったため、各自の作業に戻ってしまったのではないかと考えられる。1時間目の授業後に、授業者はもう少し班で協力して作業を進めることや、どのように役割分担をすればよいかをシミュレーション開始前にきちんと説明した方がよかったと考えた。

1時間目の最後に、Cが清書用マップにルートを書き込んだ。引いたルートには分岐があり、千葉駅から大宮団地ゾーン方面、穴川・園生ゾーン方面、稲毛駅方面の3方向に延びていた。説明の段階で分岐や環状線を作らないことは説明した。だが、文で書いたことを読み上げただけで、図や絵は取り入れなかった。

授業者は授業後に、『分岐や環状線という言葉は知らない生徒もいるかもしれない。図を取り入れて説明すれば、分かりやすかったのではないかと考えた。そこで、2時間目の授業の最初に、図を取り入れて、分岐や環状線を作らないことを再度伝えた。その際に、実際ならば分岐や環状線を作ることでもできるが、今回は作らないことを補足した。

その際、単に分岐を作らない、環状線を作らないということだけを伝えると、実際のモノレールでも環状線や分岐を作ることができないと考えてしまう生徒が出てくるかもしれない。そこで、実際のモノレールでは分岐も環状線も作ることができるが、今回のシミュレーションでは作らないことを伝えた。

2時間目のシミュレーション活動の1班の様子を考察する。まずは、以下の場面である。

2分ほどたち、BがiPad<sup>237</sup>をいじり始めた。その後、A、C、Dの3人でルートについての話し合いが行われた。Aは正解ルートと、正解ルートの都賀駅 - 小倉台団地ゾーンの間桜木・加曽利ゾーンを通らせるルートの2つで悩んでいた。それに対して、授業者は『両方計算してみて』と助言した。

Bは1時間目のシミュレーションでは、個別にはあるがシミュレーションに集中していた。だが、2時間目になるとiPad2をいじり、集中できていなかった。1時間目から1週間が経ち、意欲が低下してしまったのではないかと授業者は考えた。Aは、正解ルートを含んだ2ルートについて、費用を検討していた。

最終的にミッション2、3を行う時間はなかった<sup>38</sup>ものの、Aが中心となり、清書用マップに正解ルートを書き込むところまでは終わらせることができた。だが、きちんと役割分担ができていれば、ミッション2、3まで終わっていただろうと思われる。

1班は1時間目、2時間目ともに、シミュレーションにあまり集中していたとは言えなかった。1班には班をまとめるような生徒がいなかったため、役割分担がうまく行えず、協力して活動することができなかったと思われる。

次に、2班のシミュレーションの様子を考察する。シミュレーション開始時の様子は以下のようであった。

Eが「1回、どこは絶対通るか決めない?」と言った。それに対して、Gなどが「千葉駅」と言った。

Fが「青葉の森を通るのは?」と提案したことに対して、Eが「それなら県庁も一緒に通そう」と言った。

シミュレーションを開始したとき、2班は1班とは異なり、4人で向き合いながらシミュレーションを行っていた。また、女子生徒であるEとFがルートについて質問したことに対して、GとHが返答し、話し合いが活発に行われていた。この4人は全員が同じクラスで、人間関係が元々できていたため、話し合いが活発になったと思われる。

その後は、途中で雑談をすることもあったが、E・GとF・Hがペアになりシミュレーションを進めていった。だが、それぞれのペアでどのルートの計算をするか申し合わせていなかったため、効率よくシミュレーションを行うには至らなかった。したがって、2班も1時間目のうちにミッション1を完了することはできなかった。

つづいて、2時間目の2班のシミュレーションの様子について考察を行う。

シミュレーションを開始して8分経過したころには、男子がマップで区間数を数え、女子が電卓で計算し、活発に話し合いながらシミュレーションを進めていた。4人で協力してシミュレーションを行った。

2班は1時間目に続いて、2時間目も4人で協力しながらシミュレーションを行うことができた。だが、やはり時間は足りず、ミッション2の駅の配置の途中で時間切れとなってしまった。

2班は男子生徒であるGとHが、きちんと考えながらシミュレーションに取り組んでいた。また、女子生徒のEとFも楽しみながらシミュレーション活動ができていた。だが、それでもミッション2の途中までしか進まなかったため、そもそもシミュレーションに充てた時間が少なかったと思われる。今回は約40分をシミュレーションに充てたが、60分程度の時間を確保できていたら、全てのミッションが余裕をもって完了できたのではないかと授業者は考えた。



図2 シミュレーションの様子

シミュレーション終了後に、班ごとに教室の前に出てきてもらい、シミュレーションの結果発表を行った。今回は3班ともミッション3まで終わらせることはできなかったが、ミッション1については全ての班が正解ルートを求めることができた。

班ごとの結果発表の後、授業者が正解ルートを発表し、簡単に解説を行った。

次に、事後アンケートのうち、シミュレーション活動に関する質問の結果と考察を記述する。まず、「シミュレーションに熱心に取り組むことができましたか？」についてである(表3)。

表3 シミュレーションに熱心に取り組むことができましたか？

	人数
①とても熱心に取り組めた	5人
②やや熱心に取り組めた	7人
③あまり熱心には取り組めなかった	0人
④熱心に取り組めなかった	0人

この質問に、12人全員が「とても熱心に取り組めた」あるいは「やや熱心に取り組めた」と肯定的な回答をした。途中で雑談や遊びを行うことがあっても、おおむね熱心に取り組めたと感じていることが分かった。

次に、「グループで協力や分担しながらシミュレーションを進められましたか？」についてである(表4)。

表4 グループで協力や分担しながらシミュレーションを進められましたか？

	人数
①きちんと協力や分担ができた	6人
②やや協力や分担ができた	5人
③あまり協力や分担ができなかった	1人
④ほとんど協力や分担ができなかった	0人

この質問でも12人中11人の生徒が「きちんと協力や分担ができた」あるいは「やや協力や分担ができた」と肯定的な回答をしている。「あまり協力や分担ができなかった」と回答したのは、個人で作業を進めることが多かった1班の生徒Bである。だが、残りの1班のメンバーは協力や分担ができたと感じられたようである。

また、「『千葉都市モノレール建設ゲーム』についての自由な感想を書いてください」の回答から、B、F、G、Dの4人の内容を取り上げる。

B: 交通機関の大変さが少しわかった

F: チームで競い合うのが楽しかった。

G: 実際にはあまり体験できない貴重なものなのでよかった。

D: 線引きしかやらなかった。駅の場所を決めたりしたら、面白かったと思う。

生徒の記述から考察を行う。

まず、Bの回答について。Bはこのシミュレーションを通して、交通機関のルートを選定することは多大な労力を伴うことを実感したのだと思われる。このゲームは、できる限り現実のルート選定の様子を再現できるように工夫して作成した。Bの記述により、このゲームには再現性があると一定程度認められたと思われる。

Fの回答について。班に分かれて活動をするにより、Fは他の班よりもいい結果をだそうと意欲が高まったと思われる。今回は3班ともミッション1で正解ルートを求めることができたが、班によって異なるルートになった場合、結果発表のときに生徒が盛り上がる可能性があることが示唆される。

また、本教材は正解ルートがあり、班ごとに正解を求める活動を行ったが、正解が定められていない教材<sup>39</sup>を使用すれば、班ごとに異なる結果が出て、議論が活発になったり、意欲が高まったりすることが示唆される。

Gの回答について。社会科や総合的な学習の時間で、「地域の交通」について学ぶ場合、実際にまちに出てフィールドワークが行われることがある。実際にまちに出

て調査できることならば、生徒は体験的に学習することができ、フィールドワークは有効だと思われる。しかし、今回のような交通のルート選定について扱う場合は、実際にまちに出て学習することはできない。そこで本授業では、「千葉都市モノレール建設ゲーム」を開発し、教室内で活動を行った。Gの記述により、本教材は生徒が「よかった」と思えるような体験的な学習を可能にする教材であることが分かった。

最後にDの回答について。Dが所属していた1班はミッション1のルート計画までしか進まなかったが、Dは駅の場所を決めるところまで進めたら、面白いだろうと記述している。シミュレーションに充てた時間がもう少し多かったら、Dはもっと面白いと感じたかもしれない。シミュレーションには十分な時間を確保することが重要だと考えられる。

#### (4) シミュレーションを通して分かったことをワークシートに記入・発表

シミュレーション後にワークシートに考察を記入し、発表する場面について考察を行う。設問(1)『千葉都市モノレール建設ゲーム』をやってみて、モノレールのルートの計画や駅の配置について分かったこと、気づいたこと」では、生徒は以下のことを発表した。

E「建設費用だけだとけっこうかかったけど、乗客収入もあれば費用は安くなるから、乗客の予想をたてるのは大事だと思った」

K「計画するとき人がたくさん見込まれるゾーンを通るのが大事。それから、ゾーンを通る中でも建設費用を短く40する」

EとKの発表内容を見ると、シミュレーションを通して、モノレールのルートの計画には建設費用と乗客収入を考えることが必要ということが分かったようである。駅の配置についての発表はなかったが、ミッション2を完了していなかったためだと思われる。

また、設問(2)「千葉都市モノレール建設ゲーム」を体験してみて、千葉市の交通全体やモノレールと他の交通との関係などについて分かったこと、気づいたこと」では、生徒は以下のことを発表した。

F「いろいろな交通網が交差していて、交差している点には多くの人が集まる」

H「交通ネットワークはモノレールに限らず、計画をするには建設費用だけを考えてもダメだし、乗客収入だけを考えてもダメだから、乗客収入と建設費用の割合を考えなければダメだと思った」

J「モノレールはJRに比べて駅(の間隔)の幅が狭くて、京成と同じぐらい」

L「JRとモノレールは乗り換えられる駅があって、すごい便利」

この設問はルートの計画や駅の配置について分かったことだけではなく、モノレールと他の交通との相違点や交通ネットワーク全体の性質や役割について問うものである。他の鉄道路線や道路は、シミュレーション活動には直接の影響を与えるわけではないが、あえてマップには書いておいた。生徒の記述を見ると、マップに他の鉄道路線や道路を描いておいたことは有効であったといえる。

#### (5) 千葉都市モノレール建設の歴史についての解説

次に、千葉都市モノレール建設の歴史について解説を行った場面を考察する。

この部分は、授業者がスライドを見せて、解説を行った。シミュレーションを通してでは知ることのできない内容についても触れた。5分ほどの説明だったが、生徒は授業者やスライドの方を見て静かに聞いていた。一方的な解説だったが、特につまらなそうにすることもなく興味を持って聞いていたようである。

ただ、授業者は時間に余裕があれば、単にスライドを見せ説明するだけではなく、生徒との対話を十分に取入れながら、解説を行うべきだと振り返った。その方が生徒もより興味深く解説を聞いたと思われる。

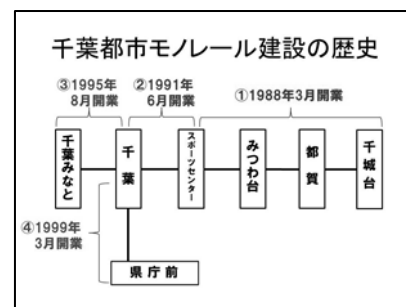


図3 モノレールの開通順序を説明したスライド

#### (6) グラフ理論や最適化問題についての解説

ここでは、スライドを用いてグラフ理論や最適化問題について解説を行った場面である。

ここでは、筆者に代わって、数学が専門の小池が説明を行った。グラフ理論や最適化問題は数学の専門的な内容である。そこで、専門が社会科の筆者よりも、小池が説明する方が生徒の興味はより高まり、解説について十分な説明ができると考えた。

小池は四色定理の証明を例に、グラフ理論を説明した。また、時間割の編成を例に、最適化問題を説明した。そ

の間、生徒は小池の方を見て、興味深そうに聞いていた。具体的な例を出して説明したことにより、生徒の関心が深まったのではないかと考えられる。



図4 四色定理の証明を説明したスライド<sup>41</sup>

### (7) 事後アンケート記入

授業のまとめとして、授業者が『社会の様々な現象にグラフ理論が使われています』と話した。最後に、生徒に事後アンケートを記入してもらった。

アンケートのうち、「交通機関のルートの計画に数学が使われると思いますか？」では、生徒は以下のように回答した(表5)。なお、授業前にも同様の質問をした。

表5 交通機関のルートの計画に数学が使われると思いますか？

	事前	事後
①とても思う	4人	5人
②やや思う	5人	6人
③あまり思わない	2人	1人
④そう思わない	1人	0人

この質問では、交通機関のルートの計画に数学が使われると思うかどうかについて聞いた。授業前でも9人の生徒が「とても思う」、「やや思う」と回答していたが、授業後にはその数が11人に増えた。特にDは、授業前に「そう思わない」と回答していたのだが、授業後には「とても思う」と回答した。多くの生徒が、交通機関のルートの計画に数学が使われていることが理解できたようである。

最後に、「前回と今回の授業の自由な感想について書いてください」(自由記述)の回答から、3人の内容を取り上げる。

F: モノレールのことがよく分かり、今までの中で一番「社会とつながっている」と思った。

H: 社会科が意外にも数学とつながっている部分があることに驚いた。最後の四色定理にはとても興味を持ちました。

K: 数学と社会がつながっている。直接はつながっ

ていないが、色々、建設や統計などによく使われることが分かった。

本授業は、社会科のなかにグラフ理論やネットワーク科学という数学の要素を取り入れて、授業を開発した。3人の回答の記述を見ると、「社会科と数学がつながっている」と実感できたようである。シミュレーションを行うときの計算や、グラフ理論や最適化問題の解説によって、このような生徒の記述に結びついたのではないかとと思われる。

その他の生徒からは、楽しかった、面白かったという感想が多く見受けられた。

## 5. 成果と課題

本研究では、シミュレーション学習を取り入れ、都市内交通ネットワークを題材とした授業を開発した。

その結果、シミュレーション教材を導入することで、公共交通のルート選定や都市内交通ネットワークの性質や役割について、実感を持ちながら学習できることが示唆された。また、公共交通のルート選定や交通ネットワークの性質の背景にある学問として、グラフ理論やネットワーク科学の社会への応用について授業で扱うことが効果的であることが分かった。以上が、本研究の成果としてあげられる。

最後に、本研究の今後の発展について述べたい。本研究は、グラフ理論やネットワーク科学の社会への応用の一つとして、都市内交通ネットワークを題材として授業を開発した。だが、世の中には交通ネットワークをはじめ、物流、人間関係、情報通信、水、エネルギー、生態系など様々なネットワークが存在する。世の中には様々なネットワークが存在し、私たちはネットワークの中で生活している。したがって、ネットワークの視点で世の中を見たり、学習したりする必要があるのではないかと。

また、本研究では「現代的な課題」として、都市内交通ネットワークを扱った。だが、歴史的な視点でネットワークを考える必要もある。例えば、交通ネットワークは、歴史的に社会の形成に大きな役割を果たしてきた。交通ネットワークが拡大されると、人々や物資の移動がより広範囲に行われるようになったからである。歴史的な視点でネットワークがどのように形成されたのかについて、学習する意義もあるだろう。

本研究をモデルとして、世の中に存在する様々なネットワークについて、また、歴史的な視点からのネットワーク形成について、授業や教材を開発することは今後の課題である。

以上を本研究のまとめとして、今後の教育研究に活かされるきっかけとなってもらいたい。

- 1 本論文は、筆者の平成24年度千葉大学教育学部卒業論文「中学校における都市内交通ネットワークを題材とした授業開発—「千葉都市モノレール建設ゲーム」を導入して—」の内容を抜粋し、新たな知見を加えたものである。
- 2 数学の一分野であり、要素を頂点(ノード)とし、要素どうしのつながりを枝(リンク)としたときに、頂点と枝の集合で構成されるグラフの性質について研究する学問。
- 3 本研究では、現実世界に存在する複雑なネットワークの性質について研究する学問を指す。複雑なネットワークの性質について研究する学問には様々な呼称があるが、以下、この論文ではこの言葉を使用する。
- 4 グラフ理論の数学的な側面だけではなく、応用にも力を入れて研究を行った人物の一人として、フランク・ハラリーがあげられる。
- 5 右田正夫・今野紀雄(2011)『マンガでわかる複雑ネットワーク 巨大ネットワークが持つ法則を科学する』ソフトバンククリエイティブ
- 6 文部科学省(2008)『中学校学習指導要領解説 社会編 平成20年9月』日本文芸出版
- 7 Teacher's Organization of Skill Sharing(教育技術法則化運動)の略。向山洋一を代表とし、教師の教育技術についての指導法を提唱する集団および活動のこと。
- 8 TOSS ランド「グラフ理論」  
[http://www.tos-land.net/teaching\\_plan/contents/1633](http://www.tos-land.net/teaching_plan/contents/1633) (2013年2月4日確認)
- 9 オイラーが発見し、グラフ理論とも関連する。
- 10 いかなる平面地図でも隣接する領域が異なる色になるように塗るには4色あれば十分だという定理である。ただし、飛び地などが存在する場合は定理に当てはまらない。
- 11 上越教育大学附属中学校 研究たより第2号 2011年6月15日発行  
<http://www.juen.ac.jp/jhs/kenkyu2011/webtayori2.pdf> (2013年2月4日確認)
- 12 上越教育大学附属中学校 研究たより第4号 2011年10月21日発行  
<http://www.juen.ac.jp/jhs/kenkyu2011/webtayori4.pdf> (2013年2月4日確認)
- 13 柴田義松(2006)『教育課程』学文社
- 14 三浦展(2004)『ファスト風土化する日本—郊外化とその病理』洋泉社を参考に記述した。
- 15 市川嘉一(2002)『交通まちづくりの時代—魅力的な公共交通の創造と都市再生戦略』ぎょうせい
- 16 例えば、2006年には富山市が「富山ライトレール」を導入し、「コンパクトなまちづくり」を進めている。また、宇都宮市や京都市などでLRTを導入する構想がある。
- 17 このような動きは、交通政策を都市計画と結びつける考え方として「交通まちづくり」と呼ばれるようになった。
- 18 村山祐司(2003)『シリーズ〈人文地理学〉10 21世紀の地理—新しい地理教育』朝倉書店
- 19 山口幸男、西脇保幸、梅村松秀(1993)『シミュレーション教材の開発と実践』古今書院
- 20 山口幸男(1999)『新・シミュレーション教材の開発と実践—地理学習の新しい試み—』古今書院
- 21 どちらも、山口(1999)前掲書に収められている。
- 22 1999年当時、千葉県立船橋法典高等学校教諭
- 23 現在の高等学校では社会科は存在せず、地理歴史科と公民科に分かれているが、当時は社会科であった。
- 24 授業前と授業終了時にアンケートを実施した。
- 25 千葉市内で運行される懸垂式モノレール。千葉市や千葉県の出資による第三セクター鉄道の1つである。千葉みなと駅から県庁前駅を結ぶ1号線と、千葉駅から千城台駅を結ぶ2号線の2路線を持つ。開業は1988年3月28日。総営業距離15.2kmは懸垂式モノレールでは世界最長で、2001年にギネス世界記録に認定された。

- 26 主に以下の2つを使用し、千葉都市モノレールの建設の経緯を調査した。  
千葉県都市部街路モノレール課(1989)『千葉都市モノレール・タウンライナーの経緯と概要』  
千葉都市モノレール株式会社(1999)『千葉都市モノレール20年のあゆみ』
- 27 市役所や県庁、動物公園などの公共施設や観光施設のゾーンは面積が狭く、広範囲に及ぶ団地のゾーンは面積が広くなるようにした。
- 28 1976年に作成された千葉都市モノレールのルートの大本になったプラン。
- 29 実際に開通したルート(正解ルート)では、千城台～スポーツセンターが1988年、スポーツセンター～千葉が1991年、千葉～千葉みなとが1995年に開通した。
- 30 もちろん、完全に現実の開通区間を再現させることが授業の目的ではないので大きな問題ではないと思われるが、シミュレーション終了後、開通区間と順序について生徒に解説する必要があると考えられる。
- 31 選択講座の教科としては数学だが、本研究は社会科の授業として筆者は位置づけている。
- 32 千葉大学大学院教育学研究科 教科教育科学専攻言語・社会系 修士課程
- 33 藤川大祐教授の研究室
- 34 この内、実際のシミュレーション時間は17分程度。残りの時間は、ルールの補足、班ごとの結果発表、授業者からの正解ルートの発表と解説に費やした。
- 35 オペレーションズリサーチ学会の定義によると、最適化問題とは「与えられた制約条件の下で目的を最適に達成するための数理モデル」のことである。グラフ理論やネットワーク科学とも関連するため、解説に加えた。
- 36 今回の班分けでは、近くに座っている人同士で班を組むことにした。近くに座っている人同士であれば、お互い仲がよく、シミュレーションに取り組みやすいと考えたからである。
- 37 授業を実施した講座「社会とつながる数学」では、毎回iPad2を授業に使用していた。そこで、本授業では、iPad2の電卓のアプリを使用することを許可した。
- 38 授業者は、時間がないためミッション1以外は終わらなくてもよいことを伝えている。本来ならば、1時間目にミッション1、2時間目にミッション2・3を行う予定だった。
- 39 例えば、ルート選定に関する授業では「道路を作ろう」という教材があげられる。建設費用が安くなるように道路のルートを考えるが、3人の専門委員の意見を考慮して決める教材である。この教材は、小西正雄(1992)『提案する社会科—未来志向の教材開発』明治図書で解説されている。その他にも、本稿「1. 問題の所在 1.5.」で取り上げた杉浦の実践が正解のない教材の例といえる。
- 40 正確には「建設費用を安く」あるいは「建設距離を短く」が正しいと思われる。
- 41 このスライドは、NPO法人企業教育研究会が独立行政法人科学技術推進機構(JST)による「社会とつながる理数教育プログラムの開発」を受託して、中学2年数学「証明」の単元の導入で活用するために開発した教材の一部利用している。資料の元データは、NPO法人企業教育研究会公式サイトのプログにある。  
[http://ace-npo.org/achievements/prize/28\\_digital\\_kyouzai.html](http://ace-npo.org/achievements/prize/28_digital_kyouzai.html) (2013年2月4日確認)

#### 謝辞

本研究を進めるにあたり、千葉市交通政策課にご協力いただきました。ここに感謝の意を表します。

資料1 千葉都市モノレール建設ゲーム 説明

## 「千葉都市モノレール建設ゲーム」

### ◆ ゲームのねらい

このゲームは、班のメンバーが千葉市交通政策課のメンバーになったつもりで様々な条件を考慮しながら、千葉都市モノレールのルートを描き出し開通するまでを追体験していくものです。時代は千葉都市モノレールのルートを描き出し、建設を進めていた1970年～1995年ごろとします。

### ◆ ミッション

1. 今後発展が見込まれる臨海部の「千葉みなと」から、内陸団地がある「千城台」までのモノレールのルートを描き出し建設費用や乗客収入を考慮して、できるだけ総費用が安くなるように計画せよ。
2. ルート上の必要な地点に駅を配置せよ。
3. 一度にすべてのルートを開通させることは時間的、予算的に不可能なので、計画したルートを大きく3つに分けて、どの順序に開通させるか考えよ。開通年度は1988年、1991年、1995年とする。

### ◆ ルール

(1) ルートの計画について

- ・ルートを計画するときは、縦・横の線または、45度の斜め線を**赤線**で引いてください。
- ・ルートを計画するときには、建設費用を計算しながら進めてください。
- ・縦・横に1区間ルートを引くときは建設費用として10ポイント、45度の斜め線に1区間ルートを引くときは14ポイントが建設費用としてかかります。
- ・今回のルートは分岐したり、環状線にしたりせず1つの経路を引いてください。

(2) 駅の配置について

- ・配置する駅数は建設費用(=距離)によって異なります。以下の表を参照してください(千葉みなと駅、千城台駅を含んだ駅数です)。

建設費用の合計	駅数
300ポイント以下	12駅
301～350ポイント	13駅
351～400ポイント	14駅
401～450ポイント	15駅
451～500ポイント	16駅
501ポイント以上	17駅

- ・マップの駅を配置する地点に**青いシール**を張ってください。
- ・駅は**格子点の上**に配置してください。駅を配置するときの費用は今回計算しません。

(3) 開通順序について

- ・マップに開通年度が早い方から① ② ③と分かるように書き込みしてください。
- ・なぜそのような順序で開通させるのか、きちんと理由を考えながら決めてください。

(4) その他(乗客収入について)

- ・ルートを計画したり、駅を配置したりするときは、他の交通ネットワークや他の駅に重ねてもかまいません。
- ・マップ上の大型駅や中型駅は利用者が多く、多くの乗り換え利用者が見込まれます。これらの駅に重ねて駅を配置すると、大型駅では**80ポイント**、中型駅では**50ポイント**が乗客収入ポイントとして費用から差し引かれます。
- ・マップ上で示されたゾーンは公共施設や団地などがあり、多くの利用者が見込まれます。各ゾーン内に駅を配置すると、マップ上で示された数値だけ乗客収入ポイントとして費用から差し引かれます。ただし、一つのゾーン内に駅は1つしか配置できません。

※ ルート計画当時は、まだ**JR京葉線**は開業していませんが、西船橋～千葉みなとは1986年、千葉みなと～蘇我は1988年に開業しました。東京～蘇我まで全線開業したのは1990年です。

※ 現在開通しているルートが、総費用が一番安くなるルートかは分かりません。様々なルートのパターンについて検証してみてください。

※ ミッション1、2が終わったら、マップ左下に建設費用、乗客収入、総費用を記入してください。

資料2 千葉都市モノレール建設ゲーム マップ

