

発展途上のアジア諸国における地下空間利用と技術移転
PROSPECTS OF UNDERGROUND SPACE USE IN ASIAN DEVELOPING COUNTRIES
AND TECHNOLOGY TRANSFERS FROM JAPAN

花村哲也*, 篠崎友紀**, 武本恵***

Tetsuya HANAMURA, Yuki SHINOZAKI and Megumi TAKEMOTO

With the rapid industrialization and economic growth, urbanizations have progressed in many big cities in Asia with the increase of populations. The rapid urbanization impacts on the environmental degradation of the city, such as traffic congestion, increase of noise, air and water pollution, unavailability of safe drinking water, increase of municipal and industrial wastes, increase of flood disaster, shortage of energy and the increase of slums in the city. Underground space utilization shall be developed in developing countries as subway systems, sewage and storm-water reservoir tunnels to alleviate the surface traffic congestion and to enjoy good sanitation in the city life. Increase of population, strength of economy and global environmental concerns will trigger the construction of subways and sewage systems in Asia in the 21st century. The introduction of subway system in big cities was discussed and predicted. Technology transfer and the role of Japanese engineers were also discussed.

Key words: underground space, Asia, big cities, subway, sewage, storm-water reservoir tunnel, urbanization, environmental degradation, traffic congestion, sanitation

1. 地下空間利用の原点と都市の過密・環境問題の解消

地下空間利用の歴史を見ると、その利用は都市の過密・環境問題と密接な関係がある。本格的な地下空間利用は、18世紀の半ばのパリにおける下水道と、ロンドンにおける地下鉄にその出発点がある。産業革命を経て、都市に人口が集中し始め、ペスト大発生に見る劣悪な都市衛生環境の改善策として下水道が考案され、さらに馬車、蒸気機関列車などの地上交通問題と安全確保の点から地下鉄が考案された。これらは地下空間利用の原点と言えるものである。欧米を中心として20世紀に入り、多数の都市に、両者が導入された。第2次世界大戦後は、国際化の急激な進展と経済発展に伴い、世界の多数の国で導入されてきた。その後、下水道は共同溝として活用され、地下を利用した水道、電力、電信電話、ガス供給網を発展させ、安全なライフラインとしての都市インフラの進展をみた。

「キーワード」: アジア, 大都市, 経済発展, 都市化, 環境悪化, 交通混雑, 衛生, 地下鉄, 下水, 雨水貯留トンネル

* フェロー会員 工博 岡山大学環境理工学部環境デザイン工学科 教授

** 学生会員【予定】 岡山大学大学院自然科学研究科環境システム学専攻 博士前期課程

*** 学生会員【予定】 岡山大学環境理工学部環境デザイン工学科

地下鉄は、都市交通の大量輸送機関としての MRT, 小規模利便輸送機関としての LRT として機能を拡大して行った。同時に、地下鉄駅舎、通路空間が地下街へと発展し、地下街は、地上の自動車交通と切り離れた安全空間を、また雨風や寒暑気候から保護された快適な人間活動空間を提供した。

20 世紀前半の地下空間利用は欧米にほぼ限定されていた。唯一例外は、日本とアルゼンチンにおける地下鉄利用であった。20 世紀後半になり、地下鉄と下水道が世界各国に広がっていったが、その目的は都市の過密・環境問題の解消にあった。利用を可能にした条件は、都市の過密・環境問題を解消しようという国や都市の意思の存在と経済力の保持であった。20 世紀は経済力のある国しか地下利用ができなかったと言える。

21 世紀は、メガシティの発達と人口集中、それに伴う交通過密、大気汚染、飲料水不足、雨水、下水、ゴミの滞留等さまざまな都市問題が顕在化する中で、地球規模の都市過密・環境問題の改善が最重要課題となる。経済力を十分保持しない国の大都市においても、地下空間利用が必然のものとなることが推測される。本文では、アジアの発展途上国に焦点を当て、21 世紀の大都市における地下空間利用について考察する。

2. アジアの発展途上国における都市の過密・環境問題と社会基盤施設の不足

2.1 21 世紀の地球環境問題とアジア地域

地球規模の環境問題を考えるとき、21 世紀の課題に次のようなものが考えられる (UNEP 1999)。

世界経済は 1950 年から現在まで 5 倍の規模になり、一人あたりの平均所得は 2.6 倍に成長したが、世界人口の 1/4 が深刻な貧困状態にある。世界人口の半分は、間もなく都市に居住することが予測されている。先進国ではエネルギーと原材料の莫大な消費と廃棄物・汚染物質の大量排出が進み、一方、開発途上国では大部分の地域で急激な人口増加と貧困が進み、再生可能な資源である森林、土壌、水の消費と環境劣化が進み、同時に、急激な都市化と工業化により大気汚染や水質汚濁が深刻化し、特に都市の貧しい住民が環境汚染や不健康に直面している。

環境悪化のスピードを落し、経済活動をより持続可能な形に移行させることが重要である。開発途上国を見ると、アフリカ地域では、貧困が環境悪化と資源枯渇の主要因となっており、森林破壊、土壌劣化、砂漠化、生物多様性や海洋資源の減少、水不足、水質汚濁、大気汚染が進行している。アジア・太平洋地域では、世界人口の 60% が地上面積 30% のアジアに存在しており、21 世紀の地球の方向を規定するほどの影響力を持っている。入植地の拡大により森林の枯渇に直面し、漁業やその他の産業の拡大が、生態系に負荷を与え、海洋資源、沿岸資源の減少を招いている。一次エネルギーの需要の伸びは、世界平均では 28 年間で倍増するペースが、アジアにおいては 12 年間で倍増することが見込まれている。西アジア地域では水資源と土地の劣化が緊急課題となっている。過剰な放牧、干ばつ、土地資源の不適切な管理、集約的農業、貧弱な灌漑技術、無制限な都市化など深刻な問題となっている。水資源、特に地下水資源管理が重要課題となっている。

2.2 アジア地域の都市の過密・環境問題 (UNEP 1999)

急速な産業発展と経済成長によりアジア地域は大きな変貌を遂げていると同時に、成長に取り残された貧困層が増大している。アジアの 1/3 の人々が安全な水を飲むことができず、1/2 が不衛生な状況におかれている。平均穀物消費量は先進国の 1/3 で、カロリー摂取量が低い。文盲率は高く、特に女性に高い。アジアにおける最大の課題は貧困であり、世界の貧困者の 75% がアジアにいる。(UNESCAP/ADB 1995)

東南アジアにおける急速な経済発展は、1980 年代から始まった。しかし、南アジアでは貧困が拡大している。貧しい田舎から都市への人口の押し出し現象 (push-out effect) を促している。人口の高密度化とその拡大、急激な工業化と都市化が、大気と水汚染の拡大、安全な飲料水不足と過度な地下水汲み上げとそれに伴う地盤沈下と海水の内陸侵入、交通混雑と騒音公害の増大、都市・産業廃棄物の増大をもたらしている。

75 万人以上の都市は世界に 369 あり、160 都市がアジア (43%) にある。1994 年には 1000 万人以上の巨大メガ都市は世界で 14、アジアに 9 と、6 割を超える。人口増大スピードも急激で、ジャカルタは 15 年間で 800

万人都市に成長した。

急速な人口増大に都市基盤施設が追いつかない状態にある。安全な飲料水を確保できる人は、インドネシアの都市で 35%、ネパールで 65%である（1977）。中国では 300 以上の都市が水不足に陥り（1955）、集中処理につながる下水道設備は 20%しか達していない（1977）。スラム化も進み、コロンボでは約 50%がスラムや不法居住場所に住んでおり（1994）、同様の程度がインドネシアやバングラデッシュの都市域に見られる。

2.3 地下空間利用と上下水道および地下鉄の世界的普及

第 1 章で示したように、本格的な地下空間利用の出発点は下水道と地下鉄にあり、都市の交通過密問題と環境衛生問題に端を発している。地下空間利用は、20 世紀前半までは先進諸国のみに限定されていたが、20 世紀の後半から世界的な発展を始めた。

(1) 地下鉄（日本地下鉄協会 2000、metroPlanet）

地下鉄を見ると、20 世紀前半では、欧米先進諸都市以外ではアジアにおいて東京と大阪、南米でブエノスアイレスのみであった。20 世紀後半になって、欧米先進国、日本以外の地域で、多くの地下鉄が作られてきた。アジアでは、1959 年ハイファ、1996 年北京、1973 年ピョンヤン、1974 年ソウルで開業し、その後、韓国、中国、台湾、香港、エジプト、タイ、マレーシア、インドと多数の国の大都市で地下鉄が建設され、開業している。中南米でも、メキシコ、ブラジル、コロンビア、ベネズエラ、チリの大都市で建設された。

現在では、地下鉄は MRT のみならず LRT として、地下、地上にまたがり専用軌道として利用されている。アジアでは、韓国、中国、台湾、タイ、インド、フィリピン、イランで建設工事が進んでいる。

中国は、地上の過密交通と大気汚染、騒音公害への対処として、大都市への地下鉄導入を積極的に進めており、アジアでは日本に継ぐ地下鉄導入実績を持っている。その他の発展途上国でも、バンコク、クアラルンプール、カルカッタに続いて、インドではデリーで地下鉄建設が進められている。インドのチェンナイ（旧マドラス）やフィリピンのマニラでは、地上を主体とした MRT が拡張建設中である。インドネシアのジャカルタやイラクのバグダードでも地下鉄の計画が進められている。

従来は経済的な裏付けが地下鉄導入の条件であったが、現在は地球規模の環境問題、大都市の交通過密問題、環境問題への対処から、発展途上の経済下で地下鉄建設が始まっている。この傾向は、21 世紀により顕著になり、インド、インドネシア、ベトナム、フィリピン、バングラデッシュの大都市に大きく展開することが予想される（4 章で考察）。

(2) 上下水道および雨水貯留地下施設

都市の経済力が増加するにつれ、安全な飲料水確保と良好な衛生環境を求めるようになる。中国では本格的な下水道は 20%程度の普及率であり、その他の発展途上国においては、本格的な下水道の普及はきわめて低い。経済発展を遂げたシンガポールでは、大深度下水道網の整備に着手している。南アフリカでは、レソトで南アフリカ共和国の要請で長距離の上水道建設が行われている。

日本では、安全な飲料水確保のために上水道網の整備が先行した。急流河川と大きい降雨量、長い海岸線と海岸による水浄化機能の存在や、1960 年代まで続いた糞尿の肥料としてのリサイクル利用、その後発達した簡易浄化装置の普及により、下水道の普及は遅かった。現在でも、下水道普及率は全国平均で 60%程度である。洪水被害の緩和の目的から、大都市では雨水貯留トンネルの建設が進められている。

下水道の普及の鍵は、経済力と非衛生環境に対するぎりぎりの忍耐力である。しかし、経済発展により経済体力が増すと、非衛生環境に対する忍耐力が爆発し、下水道の普及が始まる。交通問題よりもプライオリティは低い、大都市における下水道は、都市内洪水対策と相俟って普及する。都市防災の観点から、洪水対策も重要な課題となり、下水普及に続いて建設が進むであろう。

3. 発展途上国における地下利用の上下水道整備

水が我々人間の生活に欠くことの出来ないものであることはいうまでもない。安全で効率良く水を得るために上水道が、地域環境の改善や伝染病予防等のために下水道が今日に至るまで発達し、なおも整備が進められている。近年は、社会の進歩と工業の発達に伴い人口の都市集中化が進み、上下水道完備の需要はさらに高まっている。安全な飲料水の不足・不十分な衛生設備が、発展途上の国における病気等の原因に多大な悪影響を与えていることは事実であり、上下水道は都市の保健衛生には必要不可欠なものである。先進国、発展途上国を問わず整備されるべきものの一つといえよう。

近年、さまざまな上下水道整備が世界各地で行われている。例えば、現在シンガポールで建設が進められている「大深度トンネル下水道システム（DTSS）」があげられる（DTSS 2001）。このシステムは、21世紀を通じてのシンガポールの污水収集、処理、処分の需要に対する長期的な解決策を目指しており、既存の下水からの流れを途中で取り込み、重力を利用して流下する下水網で、2つの島を横切る深部トンネルからなっている。このトンネルは、污水の全てを東のチャンギと西のジュロン島埋め立て地域にある2つの大規模污水处理施設（Changi WRP, Tuas WRP）に導く計画で、処理された水は、長い海底トンネルと放水口を通してシンガポール海峡に排出される予定である（図-1）。

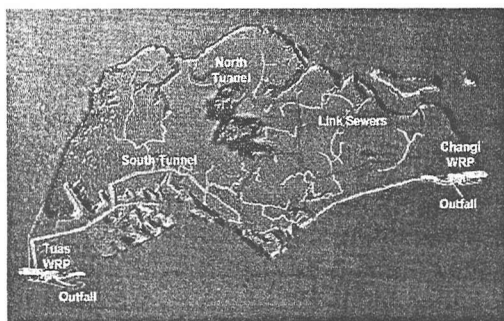


図-1 シンガポール DTSS の導入計画

DTSS が本格的に移動すると、既存の6つの下水処理場と1つの污泥処理施設、145の下水揚水施設が必要でなくなり、これによって、これらの施設に利用されている土地を他の用途への利用が可能となるとともに、周辺の緩衝地帯において、より付加価値の高い土地利用が可能になると思われる。污水处理施設は大半が地下空間を利用し、屋根で覆われることになっている。上水道について大規模な建設が行われている例に、アフリカのレソト・ハイランド・

ウォーター・プロジェクト（LHWP）がある。このプロジェクトは5つのダムと200kmの水転送トンネル、

および72MWの水力発電所を包括しており、2010年に完成予定となっている。第一の目的はレソトのSenqu川の水を南アフリカの産業中心地域に転送することであり、これにより南アフリカの水需要は緩和され、レソトにおいても水提供に関わる利益が生まれる。また、これまで南アフリカから輸入していた電力も水力発電所の建設に伴い、その依存はなくなり自給可能となることが予想されている。その他、灌漑や漁業の開発、および観光のための水設備など付属の開発を行う機会となることも期待されている。

このように発展途上の国々でも上下水道の整備が進められ、より豊かな社会基盤の確立、快適な日常生活の形成を図っている。これらの計画を促進させる上で、地下空間の利用は地形的・地域的環境の問題を克服する合理的な手段の一つとなりつつある。

バングラデシュのダッカにおいては、雨季にはかなりの面積（平年で約30%）で洪水により冠水するという土地利用上の制約があり、この洪水を防ぐための堤防が建設されているが、これはMaroonedと呼ばれ日本という輪中と類似している。しかし、冠水時には排水状態が悪くボウフラ等の虫がわき、また水で囲まれて孤立してしまうことから物資・燃料が届かず、飲み水を煮沸せずに飲まないといけなくなる状態になってしまうという。その結果、多くの人々が腹痛、主に下痢を起こす。この汚染された飲料水による下痢はダッカにおいて乳幼児の死亡原因の一位とまでなっている（北田敏廣 2000）。このように地上における改善策では問題

が解決しない場合、地下空間の利用は有効な手段として存在する。地下を利用した上下水道計画はこれからの社会整備の基盤としてより活用されることが期待され、またその発展に伴い効率的で、革新的な技術が開発されるであろう。

4. 地下鉄の発展と発展途上国における必要性

4.1 都市の人口、国の経済力と地下鉄整備の分析

ボストンでは、悪化する交通渋滞を現在の機能を失うことなく解消するため、高速道路を地下に移設する大規模工事が進んでいる。また、地下空間を利用することにより地上の緑地空間を増やし、景観を保全することにもつながる。同様に、カルカッタの地下鉄もわずかなスペースに、既存する地上交通への影響を最小限にしつつ建設する方法として地下鉄が採用された。地下空間利用は都市の肥大化・過密化、交通渋滞、地価高騰といった大都市が抱える諸問題を解決するための有効な策として、その利用が進められている。また、都市環境の改善に資するのみならず、景観への配慮も促している。

現在、地球規模での大気汚染は深刻である。この原因の一つとして自動車の急増と交通インフラの不足による交通渋滞があげられる。特にアジアの諸都市では、近年、急速な都市人口集中により多くの問題が発生しており、交通渋滞の解消が最重要課題となっている。解決策として、人・物の大量輸送機関の建設が交通渋滞・大気汚染改善に有効である。とはいえ、対策の第一形態は地上交通の強化にある。しかし、地上は飽和状態となっており、道路・鉄道・駐車場といった交通インフラの延長・拡大・新設は困難となっている。都市の過密状況をみれば地上交通インフラの強化は見込めず、地下空間利用の検討に迫られている。すなわち、都市の将来的視点のもとに都市の三次元的高度利用を考える必要がある。環境・景観保全の面を考慮すると、地下空間利用は必然となる。以下は、地下を利用した都市の主要交通機関として高い位置付けがなされ、多くの都市に普及している地下鉄を取り上げ考える。

地下鉄は、1863年にロンドンで開通し、それ以降、西ヨーロッパ・北アメリカで建設され、日本においては1927年に東京で最初に開通した。その普及は世界的広がりを見せ、現在では世界115都市で大量輸送機関(MRT)として必要不可欠なものとなっている。さらに、都市の人口集中が進むアジアの地域では地下鉄建設・計画が急速に進んでいる。経済力や国の規模が比較的大きい日本、韓国、中国、シンガポール、インド、マレーシアで地下鉄が既に開業しており、現在も建設が進められている。カルカッタにおいては、1972年から地下鉄建設がはじまり、16.45kmが開通している。先進国の都市と違いコスト負担は大きかったが、地表道路占有率が低く地上が過密化したカルカッタにおいて、都市交通渋滞・輸送問題改善に大きな効果をもたらしている。インドでは、カルカッタに続き、デリーで建設が始まった。地下鉄はもはや先進国だけの交通機関ではない。

図-2、3は世界各都市で開業している地下鉄の営業距離(日本地下鉄協会 2000)について、人口と経済力との関係を示したものである。各国の経済力の指標としては国内総生産; GDP(総務庁統計局)を用いる。図-2では地下鉄の既存している都市における人口と地下鉄営業距離、図-3では既存地下鉄の国別総営業距離とその国の持つ経済力について、それぞれの関係を示す。ここで国別総営業距離とは、地下鉄の既存する国ごとに都市の地下鉄営業距離を合計したものである。図で用いた△は先進地域における地下鉄との関係を示し、◆は先進地域以外におけるものである。先進地域とは、国連が定める先進地域(北アメリカ、ヨーロッパの先進諸国、およびアジア太平洋地域の日本、オーストラリア、ニュージーランド等)をもとにしている。これらの値をもとに、対数方程式 $y = \alpha \ln x + \beta$ を用いた対数近似曲線を先進地域、先進地域以外、全体のそれぞれについて求め表示している。図-2において、地下鉄の既存する全都市に対して求めた各都市人口 x と地下鉄営業距離 y の近似曲線①を「人口想定距離1(全選定都市)」、先進地域以外で地下鉄の既存する都市における各都市人口と地下鉄営業距離の近似曲線②を「人口想定距離2(先進地域以外)」と定義する。

同様に、図-3の総営業距離とGDPにより得られた近似曲線③、④を「GDP想定距離1(全選定国を対象)」

「GDP 想定距離 2（先進地域以外の国を対象）」と定義する。

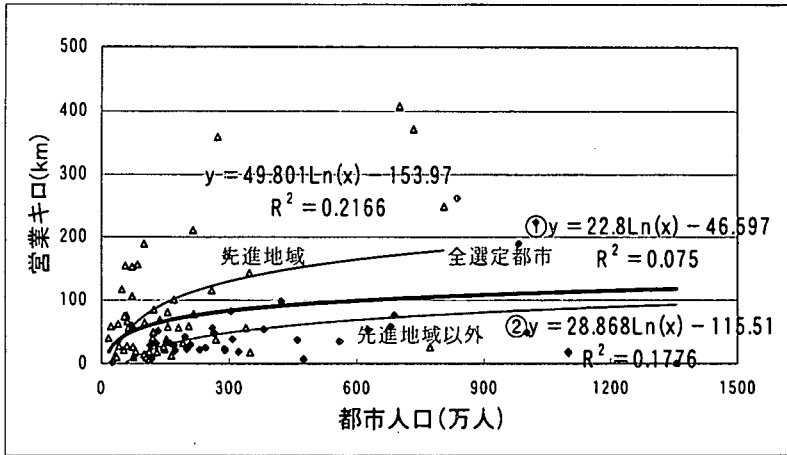


図-2 世界主要都市の人口と地下鉄営業距離

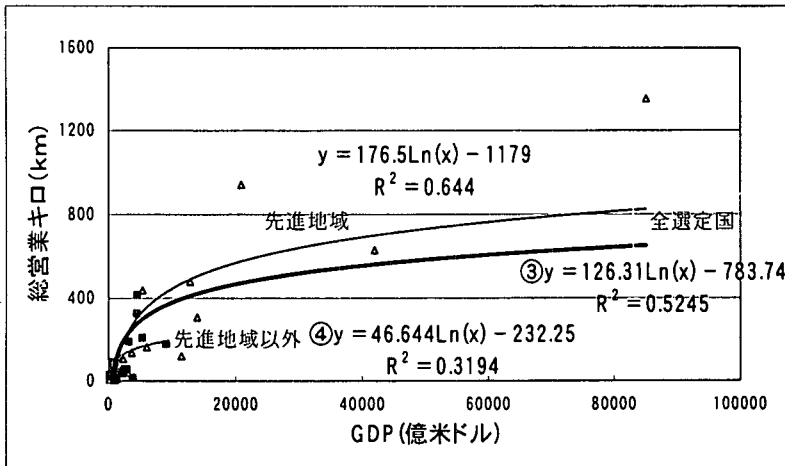


図-3 世界の地下鉄における国別経済力と地下鉄営業距離

（注：△は先進地域，◆は先進地域以外，太線は両者を合せた全体の相関曲線）

これらの図から言えることは人口と営業距離には相関関係は認められるものの、人口から適正営業距離を求めるまでには至らない。GDP と営業距離にはより密接な相関関係が認められる。また、次のような点が指摘できる。これらの近似曲線が図-2、3の横軸を切るとき、すなわち、（総）営業キロがゼロである都市人口、国別経済力が求まる。図-2からは、全選定都市を対象とする「人口想定距離1」（曲線①）では約8万人で、10万人程度規模の都市から地下鉄が建設されることを示す。「人口想定距離2」（曲線②）では約55万人で、先進地域以外の諸都市では50万人規模以上の人口でないと地下鉄の建設が始まらないことを示す。一方、図-3の国別経済力でみると、全選定国を対象とする「GDP 想定距離1」（曲線③）では、495億ドル、先進地域以外の国では「GDP 想定距離2」（曲線④）より145億ドルとなる。地下鉄建設は、全選定国を対象とするとGDPが約500億ドル以上の経済規模の国で始まり、先進地域以外の国ではGDPが約150億ドル以上と先進地域国より小さい経済規模の国で始まる。これは、経済的に比較的貧しい国においては交通過密状況から来る都市の要請が強く、先進国ほどの余裕がない経済状態で地下鉄建設が進められていることを示している。

実際には、通常地下鉄営業距離は少なくとも 10km 以上を必要とするため、上記数値より大きい人口規模の都市、GDP 規模の国で建設計画の検討が始まると考えてよい。「人口、GDP 想定距離 2」を見ると、先進地域以外の地下鉄営業距離が延び悩んでいることが示されている。その原因は以下のように考えられる。

- ・ 都市人口規模は大きい経済力の低さにより、人口規模に適した地下鉄の建設が不可能である。
- ・ 地下鉄運賃が他の交通機関（バス、ジープニー、輪タク、人力車等）より高いため、営業距離が延びない。

4.2 発展途上国の諸都市における地下鉄導入と将来予測

発展途上国の諸都市における地下鉄導入の可能性について検討を行う。今後、建設が考えられる発展途上国の諸都市に対して、先進地域の国を含めた地下鉄実績に基づいて図-2, 3 で求めた人口・経済力と地下鉄営業距離の関係を示す対数近似曲線をもとに、経済力と人口規模の両視点からの建設可能性を検討する。

検討対象都市として、地下鉄の建設中・計画中の都市（日本地下鉄協会 2000、世界の地下鉄新設計画 2001）を含めて、地下鉄の存在しないアジア・南アメリカの国の首都、および人口 100 万人以上の都市を選定する。

次に、各国の経済力による地下鉄延長の可能性について検討を行う。選定国は上記検討対象都市の属する国を対象とする。人口規模から考えると、発展途上のアジアや南アメリカの諸都市における地下鉄新設の可能性は高い。先進地域では人口 100 万人以下の諸都市でも地下鉄が利用されているが、先進地域以外、特にアジア諸国では人口規模が大きいにもかかわらず経済力が低く、地下鉄の実現性が低い現状がある。しかし、日本、韓国、中国、シンガポール、インド、マレーシアに続き、比較的経済成長の高いインドネシア、タイ、フィリピンでも建設や計画が始まっている。さらにはベトナム、バングラデシュ、ラオス、ネパール、カンボジアのような貧しい国々でも、地球規模の都市過密化対応と貧困国に対する援助により、21 世紀中には地下鉄が建設されると想像する。

表-1 はアジア・南アメリカ地域の地下鉄が営業されていない都市において、何年頃までに地下鉄新設が可能であるか、経済力と人口規模をもとに検討したものである。評価の方法を以下に示す（篠崎友紀 2001）。

- ・ 新設時期のランクを上から、2020 年頃までが望ましい都市、2050 年頃までが望ましい都市、21 世紀中が望ましい都市の 3 ランクに分ける。何年頃という数値の精確な根拠はないが、今すぐにでも建設が始められる時期として 2020 年を、国や都市の環境要請や経済力進展を考慮して比較的早い時期に建設すべきとする時期として 2050 年、地球規模の環境要請や経済発展から長期的ではあるが整備する必要がある時期として 21 世紀中を選んだ。
- ・ アジア・南アメリカ地域において地下鉄未開通の都市を検討対象都市とする。

表-1 の詳細検討は参考文献（篠崎友紀 2001）に譲るが、基本的な考え方を以下に述べる。

- ・ 人口想定距離 1, 2 と GDP 想定距離 1, 2 の 4 項目が全て正の値と算定された都市は、人口環境も経済環境も整っておりすぐにでも建設が始まってもおかしくなく、2020 年までの新設と評価した。
- ・ 4 項目中負の値が 1 個ある都市、すなわち人口規模、国の GDP 規模から評価基準に 1 個だけ達していない都市、あるいは、負の値が 2 個ある場合でもそのいずれかが「GDP 想定距離 2」でなければ、都市は近いうちに建設が可能として 2050 年までの新設とした。「GDP 想定距離 2」が負であることは、国としての経済的な要件が整っていないとの観点から、2050 年までの対象から外した。
- ・ 負の値が 2~3 個ある都市は、人口規模、国の GDP 規模からも、多くの困難さを持っているが、僅かな可能性を持っているとして 21 世紀中までの新設と評価した。

さらに、以下の主観的な条件を付加し、新設時期ランク間の修正・微調整を試みた。

- ・ 首都、建設・計画中の都市は 1 ランク上げる（現在建設中・計画中の都市は下線を記す）。
- ・ 人口想定距離 2 が正の値でも 25km 以下と算定された場合 1 ランク下げる。
- ・ 検討都市が複数個存在する国において、都市の人口規模順位がその国にあげられた検討全都市の中で後半に属する小さい都市は 1 ランク下げる。

- 人口想定距離 2 が 50km を超える都市（人口規模で 308 万人以上の都市）は特に建設が望ましい都市とする（**斜体**で記す）。

表-1 21 世紀中に地下鉄新設が望ましい都市

時期	都市
2020 年頃までの新設が望ましい	アジア : 中国（ <u>シェンヤン</u> 、 <u>ウーハン</u> 、 <u>ハルビン</u> 、 <u>成都</u> 、 <u>西安</u> 、 <u>青島</u> 、 <u>重慶</u> 、 <u>高雄</u> 、 <u>台中</u> 、 <u>台南</u> ）、韓国（ <u>光州</u> 、 <u>太田</u> ）、フィリピン（ <u>マニラ</u> ）、インド（ <u>ムンバイ</u> 、 <u>デリー</u> 、 <u>チェンナイ</u> ）、インドネシア（ <u>ジャカルタ</u> 、 <u>スラバヤ</u> ）、ベトナム（ <u>ハノイ</u> ）、トルコ（ <u>アダナ</u> 、 <u>ブルサ</u> ） 南アメリカ : コロンビア（ <u>ボゴタ</u> ）、ブラジル（ <u>サルバドール</u> ）、ベネズエラ（ <u>マラカイボ</u> ）、ペルー（ <u>リマ</u> ）
2050 年頃までの新設が望ましい	アジア : インド（ <u>ニューデリー</u> 、 <u>バンガロール</u> 、 <u>ハイデラバード</u> 、 <u>アーメダバード</u> 、 <u>カンプール</u> ）、インドネシア（ <u>バンドン</u> 、 <u>メダン</u> 、 <u>スマラン</u> ）、バングラデシュ（ <u>ダッカ</u> 、 <u>チッタゴン</u> ）、ベトナム（ <u>ホーチミン</u> ）、イスラエル（ <u>テルアビブ</u> ）、シリア（ <u>ダマスカス</u> ） 南アメリカ : メキシコ（ <u>グアダラハラ</u> ）、コロンビア（ <u>カリ</u> ）、ドミニカ（ <u>サントドミンゴ</u> ）、ブラジル（ <u>ノバイグアス</u> 、 <u>クリチバ</u> 、 <u>ベレン</u> ）、ウルグアイ（ <u>モンテビデオ</u> ）、エクアドル（ <u>グアヤキル</u> ）、キューバ（ <u>ハバナ</u> ）
21 世紀中の新設が望ましい	アジア : ベトナム（ <u>ハイフォン</u> ）、ミャンマー（ <u>ヤンゴン</u> ）、ラオス（ <u>ビエンチャン</u> ）、ネパール（ <u>カトマンズ</u> ）、カンボジア（ <u>プノンペン</u> ） 南アメリカ : ボリビア（ <u>ラパス</u> ）、エクアドル（ <u>キト</u> ）

《注》 **斜体** : 人口想定距離より判断した建設可能性が大きい都市

——（下線）：現在建設中・計画中の都市

今回検討したどの都市においても、人口集中がおきているため、21 世紀中の建設が望ましい。しかし、既存地下鉄の GDP、人口規模の平均的値から検討すると、まだ経済力が低い国が多いため、建設・計画中の都市以外の都市において 2020 年という早期建設は難しい状況にある。2050 年頃となれば、多少経済力の低い国においても経済成長の見込まれ、ライフサイクルコスト、地下鉄のもたらす利益（大量輸送機関獲得、交通渋滞改善、大気汚染改善）により建設が進むであろう。21 世紀中には、地球規模の環境改善努力や ODA 等の国際間の相互経済援助により、ほとんどの都市において地下鉄建設が実現されると予想される。

構造物建設において考慮すべき問題として地震があげられる。日本のように地震が多発する地域はもちろ

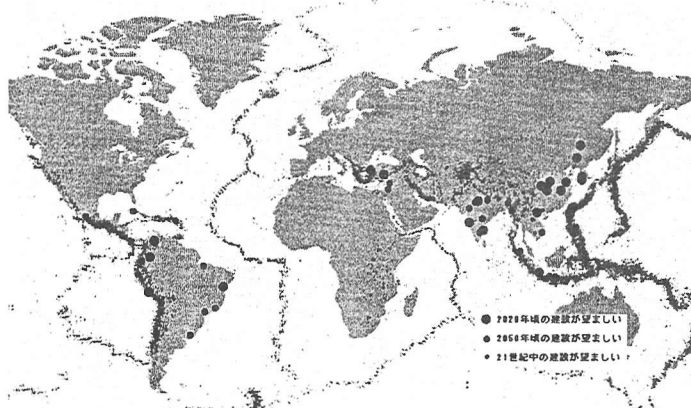


図-5 地震の分布と地下鉄建設の望ましい都市

ん、その可能性がある都市においても対策は不可欠である。韓国においても地震を考慮した建設が進められている。一般的に、地下空間は耐震性に優れており、地震多発地域における地下鉄は安全な輸送機関となる。図・5 は、1980～1994 年に発生したマグニチュード 4.0 以上の震源分布図に、表・1 の地下鉄新設の望ましい都市をプロットしたものである。これによると、検討都市のうちの中国、インド南部、ブラジルを除くほとんどの都市において地震が発生しており、耐震面から考慮しても地下鉄の有効性は高いといえる。

5. 技術移転と日本の役割

ボーダーレス化、グローバル化により、今やエネルギーや環境は地球規模の問題となってきた。特にアジア諸都市においては、急激な経済成長による人口集中から多くの都市問題に直面しており、インフラ不足は大きな課題となっている。ここで先進国から発展途上国への技術移転の果たす役割は大きい。技術移転におけるメリットを考えると以下のような点が挙げられる。

発展途上国では先端技術を得ることにより、高品質のインフラ建設が可能となる。また設計、施工を実施することにより、技術者の育成が図れる。技術者・研究者の交流が盛んになることにより、先進国の持つ先端技術とデータの活用が可能となる。技術者交流だけでなく、国際入札によるプロジェクトの建設により、実質的な技術の移転が進展する。さらに、地域の材料・労働力を取り入れることにより、地域的経済の活性化を促す。国際入札が建設市場にもたらすメリットは以下のものが考えられる。

- ・最先端技術の移転
- ・市場競争原理による経済的プロジェクト建設の進展
- ・技術交流の活性化による技術水準の向上と技術者の育成
- ・国際的建設市場の広がりによる技術者の国際化の進展
- ・経済性・技術競争力の向上とマーケティング能力の強化
- ・地域の材料・労働力を活用することによる地域的経済の活性化

技術を提供する我が国の建設産業にとっても、国際入札による技術移転により、高度な総合的エンジニアリング機能、情報集約機能を増強し、グローバル産業へと発展する機会となる。そこでは、市場競争原理に基づき、高品質を追求しながら、かつコスト縮小という課題を乗り越えることが要求される。

地下構造物建設は、一般に建設費が高く、経済的制約から踏み切れない場合がある。特に、発展途上国においては経済性が大きい制約条件となる。環境面や景観面からのメリットだけを強調するのではなく、経済性についても、真正面から取り組む必要がある。

すなわち、長期的なライフサイクルコストとしての視点が必要となる。日本では、20 世紀初頭に、西欧の技術者の指導のもとに鉄道中心の交通整備が行われた。莫大な資金を必要とし経済性も懸念されたが、実施された。特に、東京・大阪等の大都市における鉄道整備は目を見張るものであった。その後、これらの整備により日本が百年にわたって得た経済的効果は大きく、建設時に想定された経済効果を遙かに超えるものとなった。

同様に、地下空間の利用は、地上の緑地やオープンスペースを増大し、都市の品質を高め、都市空間の有効活用を促し、都市の立体的活用を推進する。そして 100 年というスパンで、この地下空間を利用し発展させていくことは、都市の大きな財産となる。長期的視点に立って建設・維持することは、良質な社会資本ストックの蓄積につながる。世紀を超えたライフサイクルコストを考慮することは合理的であるといえる。

近代建築物において、ニューヨークやシカゴの超高層ビル、ゴールデンゲート橋など、60 年から 90 年を超えて都市の一部として今なお機能しており、100 年という期間は十分に利用される時間長さと捉える必要がある。20 世紀の構造物でさえ 100 年は維持が可能なものであるから、これから建設する地下構造物は、最低 100 年あるいは 200 年を目指し、利用されるものでなければならない。しかし、鉄材・コンクリート材の劣化進行は免れることはできないため、修繕・更新を行いながら 100 年、そしてそれ以上の耐用年数を保

たせる必要がある。

地下構造物においては、一度建設すると地上構造物のように簡単に壊し、再建設を行うということが困難である。そのため、鉄材・コンクリート材の劣化等を前提とした更新を考えた設計・施工が重要となる。都市の立体的創造としての地下空間利用が進む中で、更新を行いつつ、100年から200年の利用が可能である地下構造物を建設していくことは、地下乱開発の抑制とライフサイクルコストへの考慮につながり、さらには環境を重視した高品位都市の創造へとつながると考えられる。ちなみに、シンガポールの大深度下水トンネルでは100年耐久の内側ライニングの使用が義務付けられた。今後、耐久性の高い材料の開発を進めると同時に、地下構造物に対する更新を考えた設計・施工技術の早期開発が必要である。

6. 結論

21世紀には、開発途上国において工業化と都市化が進み、都市の過密問題に直面しさまざまな環境問題が拡大することが予測される。都市の過密・環境問題の解決策として、地下鉄、下水道に代表される地下空間利用が世界的な規模で進展するであろう。特に、アジア諸国の人口が集中する大都市では、地下鉄が交通過密問題解決策として進展し、さらに、衛生問題の観点から下水道も拡大すると予測される。20世紀までは地下空間利用の開発条件は人口と国の経済力であった。21世紀には、地球規模の環境問題解決のため、世界の貧困を軽減するために、経済力の条件はさらに緩くなり、大多数の巨大都市で地下空間利用が進展する。本文では、アジアと南アメリカの開発途上国の大都市における地下鉄建設の可能性について推論した。現在経済力の低い国においても、今後の経済成長の見込みとライフサイクルコスト、地下鉄のもたらす利益（大量輸送機関獲得、交通渋滞改善、大気汚染改善）等を考慮すると、2050年までにはほとんどの大都市、21世紀中には貧困国の大都市においても地下鉄が建設されると予測される。

著しく発展するアジアの中で、技術と技術者の国際化が進み、世界規模の技術移転が拡大するであろう。日本の技術と技術者の果たす役割は大きい。

7. 参考文献

- 1) UNEP(1999) : The State of the Environment-Asia and the Pacific, GEO-2000 Global Environment Outlook, UNEP GEO team, UNEP, Nairobi, Kenya
- 2) UNESCAP/ADB(1995) : State of the Environment in Asia and the Pacific 1995, United Nations Economic and Social Commission for Asia and the Pacific, and the Asian Development Bank , United Nations, New York, United States
- 3) 日本地下鉄協会(2000) : 世界の地下鉄, 山海堂, 2000.6
- 4) metroPlanet : <http://www.metropla.net/as/asia.htm>
- 5) 北田敏廣 (2000) : 低地・流域都市ダッカ（バングラデシュの環境問題）, 土木学会水理委員会・国際建設技術協会, 2000.3
- 6) DTSS(2001) : <http://www.pub.gov.sg/dtss.html>, <http://www.iges.or.jp/judai1999>
- 7) 総務庁統計局 : <http://www.stat.go.jp/data/sekai/04.htm>
- 8) 篠崎友紀 (2001) : アジアの都市における地下空間利用の必要性和日本技術の適用について, 岡山大学環境理工学部 卒業論文, 2001.3
- 9) 世界の地下鉄新設計画 (2001) : http://www.apSCO.co.jp/index_ie.html