

中国主要都市における地下鉄導入効果に関する分析

AN ANALYSIS ON EFFECTS WITH INTRODUCING SUBWAY IN MAJOR CITIES OF CHINA

都市基盤計画分野 謝 超
Infrastructure Planning and Transportation Engineering Chao Xie

高速な経済成長に伴い中国の都市化の伸展も早くなり。その結果、都市交通と環境の問題が益々深刻になっている。軌道交通の「大量輸送」、「高速」などの優位性に基づき、「軌道交通」を優先的に発展させることは交通問題解決策の主流と考えられる。都市交通システムの構築と運営には莫大な投資が必要となる。そのため、軌道交通導入による効果を評価し、導入の可否を判断が求められる。本研究は複数の主要都市に基づき、効果評価指標を算出し蘭州市の軌道交通建設計画の効果を推定します。

With rapid economic development in China, its urbanization process is accelerating, thus urban transportation and environmental issues is becoming increasingly prominent. Based on the superiority of large capacity, high speed, and more, urban rail transportation become the main way to solve urban traffic problems. However it must take to the huge cost of construct and operate the urban rail transit system. Therefore, it should be essential to evaluate the effects by introducing the rail transit. In this study, some major indicators to evaluate the effects were calculated based on the information of important examples of major cities. In addition, the estimation of effects for the construction plan of rail transit in Lan zhou.

1. 研究の目的と意義

1.1 背景と目的

都市化の伸展に伴い中国の大都市の人口は急速に成長し、北京市 2010 年の常住人口は 1961 万人となり。10 年早めに「北京城市总体规划 (2004-2020)」に規定された 1800 万人の目標 10 年前達成した。^{1)、2)} 上海でも 2010 年末に常住人口が 2301.91 万人³⁾、10 年間早めに「上海市城市总体规划 (1999 年—2020 年)」の 2000 万の目標を超えた。いずれの都市も人口増加によって労働人口が増えた同時に交通と環境問題を中心に下記のような深刻な問題を生じることになった。

(1) 住職の不均衡と交通施設利用率の低下

中国の「第十一ヶ五年計画」のデータにより、北京市都心部の就業密度は大幅に上昇し交通量も 10% 増加した。上海市の住職比率 (居住人口/就職人口) 1:0.8 から 1:1、1:2 以上と逆転し、都心部の交通量は 21% を増した。広州市でも、環状線内側の 40km² の範囲で都市部交通量の 4 割が集中することとなった。

尚、北京、上海、広州市の交通調査データによると、朝ラッシュアワーの都心部の流入と流出交通量の比率は 2:1-3:1 に達し、都心への自動車が集まる一方。都市交通施設の利用率は益々低下。

4)

(2) モータリゼーションと交通環境ストレスの増加
都市化は「高成長率」「高密度」「高頻度」の自動車利用をもたらし、そのことが交通環境への大きなストレスとなった。

① 高成長率

表-1 北京市自動車推進(2006-2010)

	万台				
年度	2006	2007	2008	2009	2010
自動車保有量	287.6	312.8	350.4	401.9	480.9
前年比	29.3	25.2	37.6	51.5	79
同期成長率	11%	9%	12%	15%	20%

出典 北京市統計局

北京市の自動車保有は 2006 年以来年間 10% ずつ増加し、東京やソウルの自動車保有量データと比較しても急激な伸びが示している。(表-1、図-1)⁵⁾。

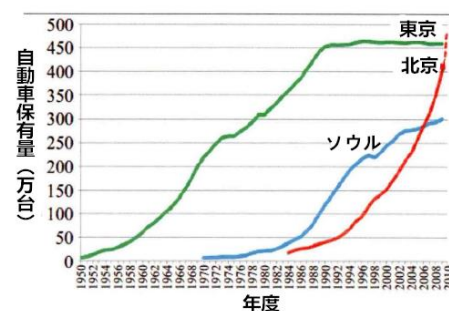


図-1 東亜三国首都の自動車増加推移

②高密度化

世界の都市化の変遷から人口密度が高いほど自動車平均保有量は低くなるのが一般であるが。中国では、北京市の東城区と西城区の自動車平均保有量は0.31台/人と、マンハッタンの2.06倍、東京都内四区（新宿、中野、豊島、文京）の1.8倍になるなど逆の現象となっており、その問題の大きさがわかる（表-2）。

表-2 都市別の自動車保有量比較

中心区	北京 (城二区)	ニューヨーク マンハッタン	東京都 内四区
面積(km ²)	92	59	58
人口(万人)	211.1	163.5	108.7
自動車保有量(台)	65.3	25.1	18.7
平均保有量(台/人)	0.31	0.15	0.17

③高頻度利用

中国主要都市の自動車利用率は諸国と比べてかなり高く、ラッシュ時の自動車年間平均走行距離は北京で1.5万kmとロンドンの1.5倍であり、東京の2倍、都心部の自動車分担率が35%以上を占めている。このことから明らかなように、及び環境面において深刻な問題になりつつある。

このような状況に対応するため、国は「大量輸送」、「高速」、「安全」、「定時性」、「環境にやさしい」の利点を揃えた軌道交通の優先的に発展させる政策に転換した。

輸送能力について、地下鉄時間あたり3—6万人/時、LRT2.5万人/時、バス2千—5千人/時、自動車1千-2千/時とその輸送力の差は歴然としている⁶⁾

軌道交通の速度は平均35km/hとバスの倍以上である。

鉄軌道交通の安全性は一般的路面交通より信頼度が高い。パリの専門家の研究によると、地下鉄の安全性を100%と設定すると自転車7%、バイク0.5%、マイカー2%、バス、トロリーバス、LRTの安全性は8%と報告されている⁷⁾

燃料消費の面では軌道交通はバスの40%、自動車の10%であり、CO2排出量はバスの50%、自動車の14%と言われている。

交通は社会発展及び国民経済の基礎、生産、配分、交換、消費の連結部分であり、社会経済活動を順調に動かす前提されているため、上述の5項目の評価が重要となるが、中国において、2008年以降軌道交通の建設が飛躍的に速められている。（図-2）

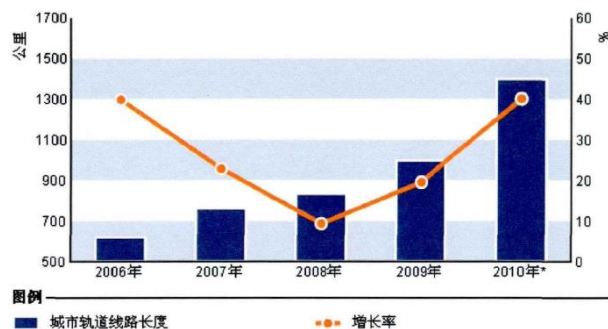


図-2 軌道交通の転換期

特に、北京、上海、広州、南京、深センは既に一定規模なネットワークが形成され、ある程度渋滞問題が改善し、市民の外出効率も向上した。2013年末時点では、中国全国19都市で軌道交通の運営を開始し、総延長2326km。ルート数74本、1516駅まで整備が進められている。南昌、青島、東莞、貴陽、合肥も建設許可を受けており、蘭州、ウルムチ、常州、アモイ4市は建設計画書を提出した。残り、太原、大同、済南は計画書の作成中となっている⁸⁾。

都市軌道交通システムは構成の複雑さや技術基準、車両編成及び運営能力の要求の高さ、環境保護の難しさのから、その建設コストは非常に高い。つまり、政府への投資リスクも高い。都市自身の状況（交通需要、土地利用、財政力、環境評価）に合わせないと、過大や過小評価に陥り、都市の持続可能な発展に影響を与える。そのため、合理的な都市軌道交通システムの評価方法の研究は非常に重要となる。都市交通システムは公的投資として外部性が持っており、間接的な波及効果も多い。以上のことから、本研究では中国主要都市の情報を収録、持続可能な発展にかかわる要因と指標を抽出し、その効果評価の考え方を整理するとともに、導入計画が立案されている蘭州市をケーススタディとして適用することでその評価の可能性を検討し、実用化のための課題を抽出することを目的にします。

1.2 研究の方法

前節で述べたように、本研究では先行事例と学術情報データベースから、軌道交通導入の情報を幅広く収集・整理し、基本的概念を踏まえた上で、都市規模に応じた交通機関別の主な効果指標を抽出し、具体的な評価を試みる。しかし、北京や上海は超大都市であるため、参考にとどめ、中国での地下鉄導入条件を満たすことになった成都市と長沙市をその対象として、各種指標の原単位を作成し、軌道交通導入条件を満たし、現在計画を申請中の「蘭州市地下鉄1号線」を対象に、その効果評価を試みることにする。

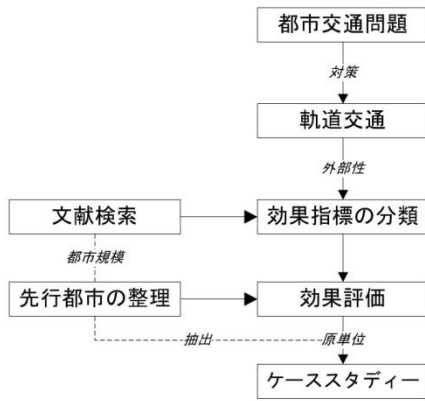


図3 研究の構成

2. 軌道交通の分類と研究対象の位置づけ

2.1 調査データ

中国主要都市軌道交通と導入の実態を把握するために、CNKI (China National Knowledge Infrastructure 中国学術文献情報オンラインサービス)⁹⁾ を利用し、「軌道交通」、「効果評価」、「地下鉄」のキーワード検索で収集した論文をもとに、必要な情報を収集した。

2.2 軌道交通の分類

軌道交通は走行区間により都市間と都市内に分けられます。本研究では都市内、特に都心部の交通問題改善を目指していることから、都市内の交通機関の種類に着目して、分類した。

1) 地下鉄

路線の大部分が地下空間にあり、主に都市高速鉄道として建設され、かなり初期投資を必要とするが大量旅客によって、都市内の道路交通の大幅な削減と、それに伴う多様な効果が期待される。

研究では、北京、上海、成都を具体の事例として取り上げた。

2) LRT

ライトレール (Light rail) という概念は、1972 年ごろにアメリカ連邦交通省都市大量輸送局 (U.S. Urban Mass Transit Association: UMTA) によって制定された。これによれば、LRT は「大部分を専用軌道として部分的に道路上 (併用軌道) を 1 両ないし数両編成の列車が電気運転によって走行し誰でも容易に利用できる交通システム」とされ、簡易な設備による低コストな建設を目指して開発された。高架鉄道や地下鉄よりもその輸送能力はかなり小さいが路線バスよりも大きな輸送力を持つ公共交通機関である。使用する鋼レールも比較的軽く、1メートルにつきわずか 50 キログラムである (一般鉄道レールは 60 キログラム以上)。ことから、中国語で“軽いレール (軽軌)”と言われる。

本研究では大連の事例として取り上げた。

3) モノレール

1 本の軌条により進路を誘導されて走る軌道系交通機関であり。軌条上を跨ぐ、或いは下で掛られる二種類のタイプがある。

モノレール/LRT から地下鉄に移行した例として、重慶や武漢が挙げられる。

4) 路面電車

都市内およびその近郊の道路上に敷設された鉄道で、比較的、短距離の旅客移動手段として利用される。道路上の安全地帯や歩道から車両に乗降し、停留場の間隔が短いなどの特徴がある交通機関である。

中国では長春や大連が有名である。

3 軌道交通の効果及び評価指標の抽出

3.1 基本的な考え方

本研究では費用便益分析により評価するため、関連する要因を貨幣価値で代替することとし、直接効果のみならず、間接・波及効果、プラス効果だけでなく、マイナス効果も含めて、検討する。

3.2 指標の確定

CNKI を利用してメインのキーワードを検索する同時に類似語も検出されるので「頻度統計」の方法で、軌道交通の評価指標を抽出する。(表-3)

表-3 都市軌道交通効果のキーワードの出現頻度

評価指標	頻度	評価指標	頻度
誘発交通量	11.1%	舗装コスト削減	33.3%
時間短縮	77.7%	都市用地の節約	55.5%
快適さ	66.6%	省エネ	66.6%
安全性	77.7%	交通システムの改善	33.3%
バス代替	88.8%	効率向上	22.2%
コスト削減	44.4%	産業団地の形成	44.4%
環境改善	55.5%	都市機能の向上	44.4%
地価上昇	88.8%	経済成長	22.2%
項目財務便益	33.3%	失職減少	11.1%

表-3 のように統計値からも明らかなように「都市軌道交通効果」は直接効果と間接効果から構成され、軌道交通、交通、経済、社会の相互作用を勘案する必要がある (表-4)。しかし、本研究では交通効果を基本として、これに伴う交通・経済・社会・環境効果について検討する (図-4)。

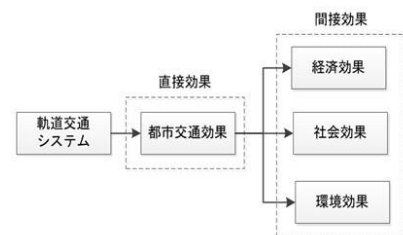


図4 都市軌道交通システムの効果

3.3 交通効果と波及効果の考え方

軌道交通導入してから、利用者と管理者両方共に、「時間短縮」、「快適さ向上」、「安全性向上」、「アクセスビリティ改善」、「輸送能力強化」などの交通系効果顕割れることになる。これらの効果は軌道交通の直接効果に属するが。その後の時間経過とともに波及効果として経済面と社会面の影響も出現する。(図5)

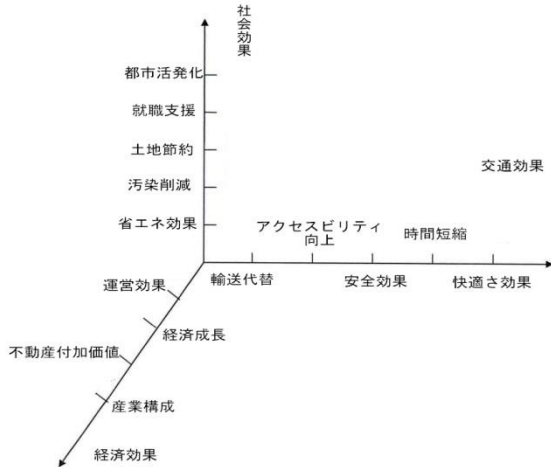


図5 時間経過を考慮した軌道交通効果の拡張ベクトル

表-4 軌道交通整備の効果評価指標の分類

軌道交通効果評価	分類基準	効果	説明
	計算出来る可否	顕在効果	金銭で計算出来る
潜在効果		金銭で計算できない 主観的効果評価	
対象との相関性	直接効果		
	間接効果		
効果機能	フロー効果	建設中の効果	
	ストック効果	完成後の効果	
主体	経済効果	経営者	
	交通効果	利用者	
	社会効果	周辺住民 政府	
	環境効果	生態系	

3.4 対象都市の選定

対象都市の選定方法については、都市規模の大きさにより、効果指標の選出及び適用可能性も異なると考えられることから、本研究では都市規模に注目して、今後発展の可能性のある人口規模を設定し、これに類似する都を対象として、その効果を算定することとした(表-5 表-6)。

なお、北京や上海は超大都市であるため、参考にとどめ、中国での地下鉄導入条件を満たすことになった成都市と長沙市を具体的対象としてこれらの指標値を用いて、本研究のケーススタディとして対象とした「蘭州」と人口規模と地形条件で類似していることから、指標の設定及び評価方法の検討に用いることとした(表-7)。

表-5 中国の都市規模分類基準

超大都市	都心部人口数1000万以上	
特大都市	都心部人口数500万~1000万	
大都市	I型都市	都心部人口数300万~500万
	II型都市	都心部人口数100万~300万
中規模都市	都心部人口数50万~100万	
小都市	I型小都市	都心部人口数20万~50万
	II型小都市	都心部人口数20万未満

(出典：「国务院关于调整城市规模划分标准的通知」)

表-6 中国の地下鉄建設基準

地方歳入	100億元以上
GDP	1000億元以上
都心部人口	300万以上
交通量	時間輸送量3万人以上

(出典：中国国务院台弁公庁 2003)

表-7 本研究で対象とする都市

都市	路線数	駅数	総延長(km)	輸送量(万/日)	人口(万人)	面積(km ²)	地方歳入	GDP
北京	18	320	527	950-1050	2018.6	16,800		
上海	14	337	548	1028.7	1921.32	7037		
成都	1	22	23.9	29.1	529.54	12130	196.29億元	2371億元
長沙	1	19	22.26	17.8	359.62	11,820	511.28億元	6,400億元
蘭州	1	20	26.8	NA	361.63	13,100	103.73億元	1564.41億元

4 比較都市における軌道交通整備効果の評価

軌道輸送量をバス等で分担したと場合の代替係数(λ)

$$\lambda = \theta \cdot Q/Q_{bus} + (1-\theta) \cdot Q/Q_{ta} \dots \dots \dots (式-1)$$

Q 軌道交通の輸送量 Q_{bus} バスの輸送量 Q_{taxi} の輸送量

θ：軌道交通以外の公共交通機関の分担率の比率

λに基づき①輸送能力の代替効果②運営コスト削減③交通系関連施設整備の代替効果④安全効果を算出

①輸送代替効果

$$B = P_{bus} \cdot \lambda / Y_{bus} + P_{ta} \lambda / Y_{ta} \dots \dots \dots (式-2)$$

②運営コスト/④安全効果

$$B = P_{bus} \cdot \lambda \cdot L + P_{ta} \lambda \cdot L \dots \dots \dots (式-3)$$

③施設整備

$$B = P_{bus} \cdot \lambda \cdot S + P_{ta} \lambda \cdot S \dots \dots \dots (式-4)$$

Y：車両・施設のライフサイクル期間/使用年間

L：軌道交通の総延長(平均輸送距離)

S：車両平均道路/駐車占有面積

⑤時間短縮効果：バス等で代替した場合の時間遅れを時間価値で算出(元)

$$B = \frac{1}{2} Q \left(\frac{1}{v_{pub}} - \frac{1}{v_{su}} \right) D \cdot VOT \dots \dots \dots (式-5)$$

Q：軌道交通の年間輸送量(万人/年)

v_{pub}：公共交通機関の平均速度(km/h)

v_{su}：軌道交通の平均速度(km/h) D: 輸送距離(km)

VOT：時間価値=平均給料/平均労働時間(元/人)

⑥快適さ効果(疲労回復・効率アップ)：疲労回復時間と時間価値より算出(元)

$$B = Q * H * \{(1 - X_{sub}) / (1 - X_{pub}) - 1\} * \eta * VOT \quad (式-6)$$

Q：軌道交通の年間輸送量(万人/年) X：各交通機関利用時の疲労回復率(%)

η ：仕事トリップの割合(%) H：平均労働時間(h/Y) VOT：時間価値(元/h)

④運営効果

各手段の運営経費は、運賃収入から、運営コストと初期投資を差し引く

$$B = B_{ticket} - C_n - C_0 \quad (式-7)$$

B_{ticket} ：運賃収入 C_n ：運営コスト C_0 ：初期投資

⑤地価上昇効果

$$B = (P_{af} - P_{bef} - \Delta E) * S \quad (式-8)$$

P_{af} ：建設後の平均敷地価格 P_{bef} ：建設前の平均敷地価格

$P = P_{sell} * 40\% * N$ (N 平均建築階数)

P_{sell} ：不動産引取平均価格(元/m²) R：利子

S：沿線の不動産面積影響半径内 r の敷地面積の 7 割

$S = L * r * 2 * 70\%$ L 軌道交通総延長(km)

ΔE ：他の原因による地価の変動(敷地価格の 2%)

環境効果としては、⑦省エネルギー効果と④大気汚染処理効果を取り上げた。

方法としては、これまでと同様に代替係数と原単位を利用

$$B = P * \lambda$$

$P_{\text{省}} : \text{エネルギー消費 (KJ/人} \cdot \text{km)} (\text{KJ/台数} \cdot \text{km)}$

$P_{\text{汚}} : \text{汚染処理コスト (元/人} \cdot \text{km)} (\text{元/台} \cdot \text{km)}$

なお、本研究では、超大都市ではなく、近年軌道系交通導入の条件を満たした大都市を対象として基本的には長沙と成都のデータに基づいた原単位を用いる

5 事例検証

表-9 蘭州市の試算原単位

蘭州市の各原単位			
年度	2013年		2013年
バス保有量(台/年)	2745	駐車場使用可能時間(年間)	50
バス輸送量(万人/年間)	76427	道路利用可能時間(年間)	20
タクシー保有量(台/年)	7913	道路整備費用(万円/m ²)	0.0315
タクシー輸送量(万人/年間)	30660	バス道路占有面積(m ² /台)	84.6
バス分担率	26.41%	タクシー道路占有面積(m ² /台)	63.5
タクシー分担率	2.73%	事故コスト(元/人)	0.035
タクシー運営コスト(元/人・km)	0.99	バス平均時速(km/h)	17
バス購入費用(万円/台)	30	時間価値(2013)(元/人)	18.52
タクシー購入費用(万円/台)	10	仕事トリップの割合	33%
バスリサイクル期限(年間)	10	不動産効果影響半径(km)	0.6
タクシーリサイクル期限(年間)	6	利子	11%
駐車場整備費用(万円/ヶ所)	10	CO ₂ 処理コスト(元/t)	160
駐車密度(ヶ所/台)	0.013	SO ₂ 処理コスト(元/t)	2500

蘭州のデータ(表-9)と式(1-8)を利用して結果(表-10)は運賃以外その他の指標値にはいずれも時間効果が現れている。この直接効果の黒字化を確保するためには、初期投資に加えて、社会・経済効果を勘案した補助が期待される所である。北京や上海の事例からもわかるように、軌道交通はネットワークを形成することで、さらにその効果は大きくなることから、軌道

交通の投資は長い時間続ける必要がある。直接効果としての運賃収入は時間経過に伴って効果が低くなっているが年度ごとの効果の合計と建設時点の経過年間の回帰分析により、その累積効果(座標系に囲まれた三角形の面積)は大きくなります。初期投資 199.99 億円で累積効果の価値 200 億元に達した時点は損益分岐点で運営開始 12 年目から黒字になり。(図-5)そのために、初期の赤字緩和など、政府や民間組織による共開発が課題と考えられる。

表-10 蘭州市の効果試算結果

	2019	2026	2041
年度			
効果(2013年に換算)			
交通効果			
①輸送能力代替	0.16	0.36	0.57
②運営コスト代替	0.27	0.64	1.14
③交通系関連施設整備	0.24	0.55	0.87
④安全効果	0.04	0.09	0.14
⑤時間短縮効果	8.27	18.49	35.56
⑥快適さ効果	3.33	7.44	11.19
経済効果			
⑦運営効果(運賃)	2.78	2.93	0.91
⑧地価上昇効果	0.92	1.53	1.70
環境効果			
⑨省エネルギー効果	1.29	2.83	4.19
⑩排気汚染処理効果	1.10	1.16	0.36
合計(億元)	18.40	36.02	56.63
初期投資	-199.99		

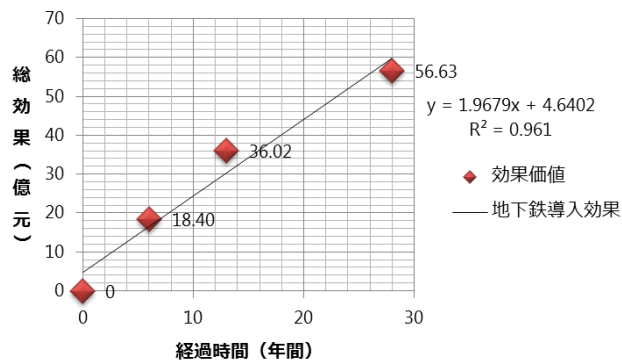


図-5 蘭州市地下鉄 1 号線収益の線形モデル

参考文献

- 1) 国家统计局 HP.
- 2). 第六次人口調査データ
- 3) 上海市統計局
- 4) 全永榮、孫明正「中国大都市圏交通發展方向の注意事項」[J] 都市交通 Vol.9, Issue 2, 2011-3.
- 5) 「北京市軌道交通發展策略」[J] 都市快速軌道交通 Vol.22, Issue 2, 2009-4
- 6) 陳旭、「都市軌道交通外部性に関する研究」[D] 華南科技大学.2005
- 7) 劉旭「Data Envelopment Analysis(DEA)に基づいた都市軌道交通運營の評価と改良」[D] 西南交通大学 2008
- 8) 「我が国軌道交通マーケティング發展に関する分析」[J] 中央空調市場 Vol.9 2011-9
- 9) www.cnki.net 最終閲覧日 2016.2.18