
中国の都市をめぐる人と自然の和諧

一ノ瀬 俊明

<独立行政法人国立環境研究所>

要 旨

近年顕著な発展を見せる中国の都市をめぐる環境問題として、廃棄物、大気・熱環境、水資源を取り上げ、人と自然が調和した都市のあり方についての提言を試みた。中国の都市においては一般に、空間情報基盤へのアクセスが困難（機密情報の部類）であるが、人と自然の和諧を実現する街づくりを中国で実現するためには、都市計画・建築計画的な手法にもとづいて住みよい環境を創造する「風水」の伝統を重んじつつも、科学的な根拠にもとづいた環境調和型のデザインを、合意形成過程および空間情報基盤整備を重視して進めることが重要であり、それにより、日本などに先駆けた成功事例を実現する可能性もおおいに見出せる。

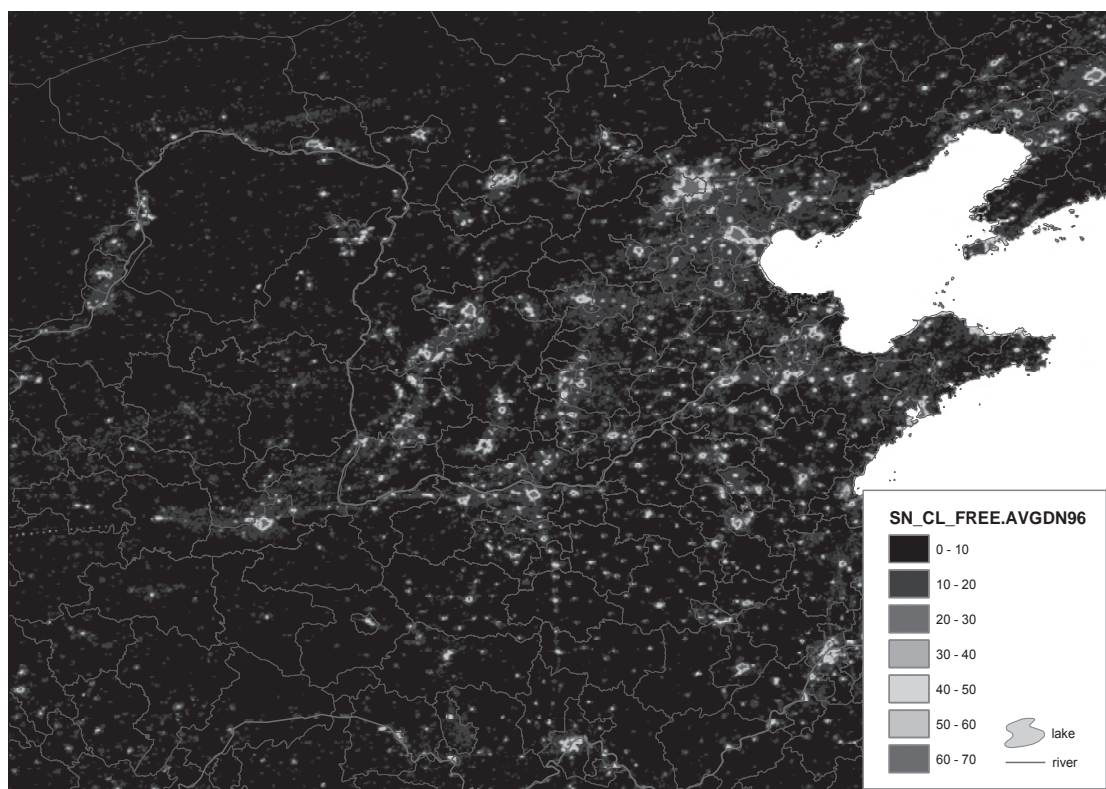
キーワード 都市、廃棄物、大気、水資源、空間情報基盤

I 中国における都市の広がり

一般的にアジアにおいては地域別各種統計データの整備が遅れており、その入手・利用は困難である。とりわけ開発の進行に伴う都市環境の悪化など、その時系列変化を追いかけるデータは皆無に近い。また、既存の統計資料には信憑性のないものも多い。経済活動の度合いを示す指標にしても、市街地の水平的拡大を捉えるのに用いられている LANDSAT らよく知られた衛星画像からは、その作成が困難である。このような事情に鑑み、場所を問わずアジアの各都市に適用可能な都市の発展段階の定量化手法の開発が必要である。リモートセンシングから得られる情報を GIS 上で行政界単位に集計し、既存統計資料の代替とする手法は、その代表例といえる。

米国の軍事気象衛星により撮影された夜の地球表面の光強度画像データ（DMSP/OLS: Defensive Meteorological Satellite Program / Operational Linescan System）は、夜間における可視～近赤外領域の弱い放射（VNIR; 0.4-1.1 μm ）を、約 560m の解像度で表現している。ここで捉えられる放射は、月光を反射する雲、都市や工業地帯の照明、ガス田の炎、山火事、雷光を反射する雲などである。1994 年中旬～1995 年中旬に撮影された 256 シーンのうち、光が存在したところと存在しなかったところをパーセンテージで示したもの（256 シーンすべてに光が撮影されていた場合は 100）が、既に都市域の拡大[Imhoff *et al.* 1997]、人口[中谷 1999]、エネルギー消費量[Elvidge *et al.* 1997]の推定に用いられている。

図1 北京周辺における1996年のDMSP/OLS輝度値（解像度約1120m）



Ichinose *et al.* (2002)および一ノ瀬ら (2002) より改作

著者らは1996年の中国を対象に、DMSP/OLS輝度値（図1：Ichinose *et al.* 2002および一ノ瀬ら 2002）にもとづく水資源需要[一ノ瀬ら 2004]など社会経済統計指標の空間分布の推定を試みてきた。地級行政単位の統計を輝度値の集計値と比較した結果、給水総量が増加すると輝度値も増す傾向が見られ、統計資料の乏しい地域において都市活動の展開を広域に概観する手法として、こうしたリモートセンシングの資料を活用することは有益と考えられる。本章では、近年顕著な発展を見せる中国の都市をめぐるいくつかの環境問題を取り上げ、人と自然が調和した都市のあり方についての提言を試みたい。

II ゴミで包囲される中国内陸都市

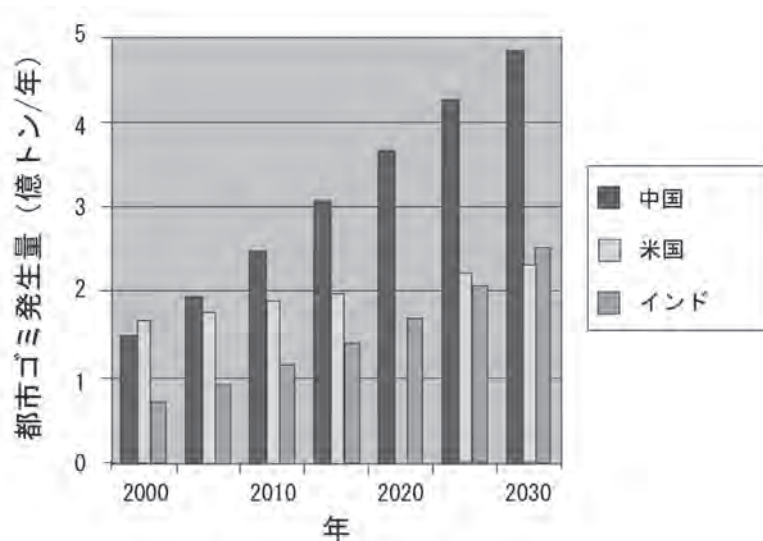
1 増え続ける中国の廃棄物

中国は近年、アメリカを超えて世界最大の都市固体廃棄物（MSW：Municipal Solid Waste）発生国となった[World Bank 2005]。2004年に中国の都市部では1億9,000万トンのMSWが発生し、2030年にはそれが少なくとも4億8,000万トンに達すると予想されている（図2）。このような大量の廃棄物の発生と急速な増加を経験した国はいまだかつて存在しない。この廃棄物の管理は中国国内においても、また国際的にも各方面に関して非常に大きな影響を持っている。World Bank（2005）は、中国における固体廃棄物管理の重大な問題点としていくつかの点を明らかにしている。

- (1) 廃棄物の発生量が非常に増加し、消費のパターンは劇的に変化しているが、廃棄物の削減努力はほとんどなされていない。
- (2) 廃棄物量と処理のコストについて信頼性のあるデータが欠如しており、廃棄物管理戦略の立案が非常に困難である。
- (3) 意思決定プロセスにおいて、技術選択に向けての一貫した政策、戦略立案が欠如している。また民間企業参加の欠如、処理コスト回収の欠如、政策策定に関する情報開示と公衆参加が欠如している。
- (4) 廃棄物処理施設は必ずしも設計基準を満たしておらず、特に汚染管理においては顕著である。また、施設の運転は非効率的であり、廃棄物収集の運用はしばしば合理性に欠ける。
- (5) 収集・搬送サービスの分散が不適切であり、技術的立案と民間企業参加への自治体対応力が不十分である。また、政府機関の権限が不明確であり、中央政府と地方政府の責任範囲も不明確である。
- (6) 固体廃棄物処理業務への民間企業の参加を増やそうとする政府の目標が不明確である。そのため、一貫性のない契約ルール、不透明な購買実施、持続可能でない補助金、自治体の不適切なキャッシュフロー、不明確で一貫性のない会計処理、そして不明確な規制の枠組みとなっている。
- (7) 中国の都市は、埋め立て地におけるガス回収、堆肥、リサイクリング、嫌気性下水処理などからの温室効果ガス排出削減による排出権取引で年間約 10 億ドルほどの利益を得られるはずである。しかし、その機会は時間的な制約があるので政府による早急な介入が必要であるが、その対応が十分ではない。

中国での廃棄物処理において、これらの問題点があることを踏まえた上でこれからの課題を明らかにする。

図2 中国、米国、インドにおける都市ゴミ発生量の予測



World Bank (2005) より改作

2 中国国内からの廃棄物

(1) 中国における廃棄物の管理

中国では、廃棄物処理について「固体廃棄物環境污染防治法」に定められている。74条、75条において固体廃棄物とは、固体あるいは半固体の廃棄物質と定義し、液体廃棄物や容器に入った気体廃棄物も法の対象としていると明示されている。法律上、固体廃棄物は3つに大別される。工業などの生産活動から産出される工業固体廃棄物、都市の日常生活と関連して発生する都市生活廃棄物、そして国家が定めた危険な特性を持つ危険廃棄物である。しかし、農村と農業からの廃棄物は対象とされていない。

24条によると、処理目的での国外からの廃棄物の輸入は禁止されている。しかし25条によると、原料として利用可能な廃棄物の輸入は、国家環境保護総局などが策定するリスト登載のものについて許可を得て行うことができる。中国国内での廃棄物処理のための移動においては、23条で受入れ地の省級政府の環境行政部門による許可を必要としている。

(イ) 都市の生活ゴミ

中国統計年鑑（2003）によれば、2002年に中国の660都市で発生した生活ゴミの総量は1億3,650万トンであり、1人1日あたり1.06kgとなる。2002年に日本全国で排出した生活ゴミの総量は5,236万トン、1人1日あたり1.11kgとなり[環境白書 2005]、生活ゴミの発生原単位は中国、日本ともに約1kg/(人・日)である。都市ゴミの伸び率は2001年にくらべ大幅に低下している。

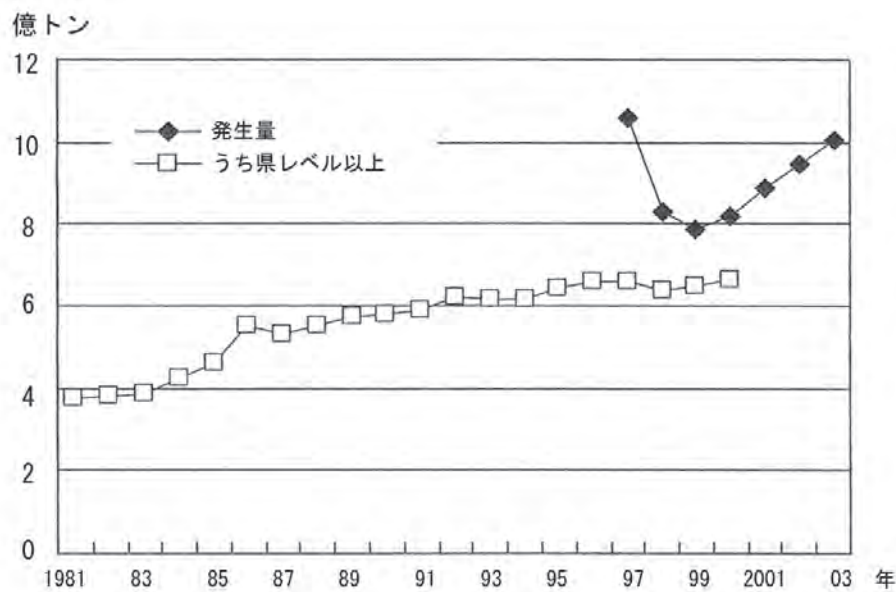
現在中国には廃棄物に関する正確な統計は少なく、既存の統計にも不自然な数値が少なくない[中国環境問題研究会編 2004]。データの信頼性にも問題があるため、厳密な分析は難しいが、中国国内の文献の中には、生活ゴミの発生量は年率7～8%増加しているとするものもある。彭（2004）によれば、2002年における生活ゴミの処理方法は、埋め立てが49%、焼却および堆肥製造が5%であり、残りの46%は都市のまわりや川や湖の土手などに破棄されているという。このような不適正な投棄により、約3分の2の都市において「ごみが都市を包囲する」という現象が生じている。

(ロ) 工業固形廃棄物

中国環境年鑑（1981-2003）および中国環境統計資料匯編（1981-1990）によれば、工業固形廃棄物の発生量は2003年で10億428万トンとなっている（図3）。その内訳は鉱さいが2億8,980万トンと最も多く、石炭灰が1億5,722万トン、燃焼設備からのフライアッシュが9,491万トン、石炭採掘から排出されるボタが1億7,529万トン、冶金で発生した金属スラグなどが1億2,304万トンとなっている。危険廃棄物は1,170万トンと量的にはあまり多くない。これらの処理・処分方法においては、リサイクル・リユースなど総合利用されている量が全体の55.8%を占めている。リサイクルまたは処理のために一時保管され、焼却または最終処分がなされている量以外で、廃棄物処理施設・処分場以外の場所に排出され、不適正な処理がなされていると考えられる量は全体の1.9%ほどである[中国環境状況公報 2003]。業種別の内訳は、採掘業38%、電気・ガス・熱供給業21%、金属精錬業21%、化学工業8%、その他11%となっている。また、1980～90年代に建設された高層ビル群の解体期には、大量の建築廃棄物の処理需要の発生が予想される。中国都市部の産業廃棄物が内陸で廃棄される、言い換えれば、経

済水準上位地域が下位地域へ負荷を押しつけることへの懸念がある。

図3 工業固形廃棄物排出量



中国環境問題研究会編（2004）より改作

（2） 今後の課題

（イ） ゴミ処理

ゴミ処理のための努力としては、市場メカニズムにおけるゴミ処理システムの確立、ゴミ処理施設建設の推進、減量化、資源化、海外からの資金投資の活用などがある[中国環境問題研究会編 2004]。1996年4月に固形廃棄物環境汚染防止法が実施され、1998年には中国初の日本製焼却施設が導入され、ゴミ発電が行われた[中国環境問題研究会編 2004]。発電を通じて電力供給などエネルギー問題の解決にもつながるため、発電・供熱利用への期待は大きい。2002年末、国務院建設部などは2003年までに全国の都市でゴミ処理費用の徴収を全面的に実施すると通知した[中国環境問題研究会編 2004]。このようなゴミの有料化は汚染者負担原則やコストの面で支持される。2000年6月には、全国8ヶ所がゴミ分別モデル都市に指定されている[中国環境問題研究会編 2004]。特に広州市では、ガイドライン「都市生活ゴミ分別方法および評価基準」にのっとり、ゴミが6種類に分類され、普及率、ゴミ収集率、分別ゴミの運搬率などの指標により、分別効果を評価することが規定されている。このようにゴミ発電、ゴミ有料化、ゴミ分別が実施されてきてはいるが、まだ制度がはっきり根づいておらず、政策的にもこれから確立していくものと思われる。

（ロ） リサイクル

現状として中国のリサイクル率は低いものの、中国国内リサイクル産業の育成、促進のため、国として関連産業への免税措置を行っている[中国環境問題研究会編 2004]。中国におけるテレビ、洗濯機、冷蔵庫、エアコン、PCなどの保有台数は2002年末で7.6億台、携帯電話は2.5

億台になるとの推計もある[中国環境問題研究会編 2004]。しかし、中古品の場合は西部地域等の農村に運ばれてリユースされるか、廃棄されることになり、廃棄される場合には環境へ負荷を与えることが懸念される。

3 中国国外からの廃棄物

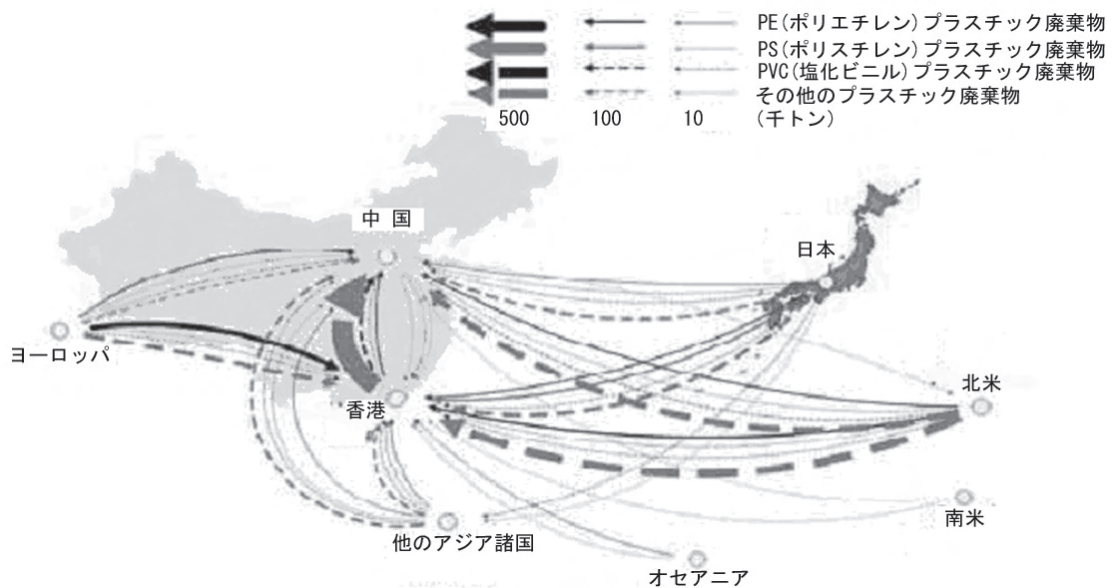
一般的に、廃棄物等は適切に管理を行わない限り、経済原則にもとづいて、より処理費用の安いルートを求めて流れを形成する傾向がある[経済産業省 2005]。そのため、発展途上国などには、安い人件費や広い土地を理由に世界の有害廃棄物がリサイクル目的で輸入されるようになる。

(1) 越境する廃棄物の現状

著しい成長を見せている中国では、国内資源だけでは成長をまかないきれないので、アメリカ、ヨーロッパ、日本などから、プラスチックくず、古紙、鉄スクラップ、銅スクラップなどの再生資源を輸入している。2003年の輸入量では、プラスチックくずが約302万トン、古紙が約938万トン、鉄スクラップが約929万トン、銅スクラップが約316万トン、アルミニウムくずが約65万トン輸入されている[中国環境問題研究会編 2004]。2002年に比べると、古紙36.5%、プラスチックくず23.1%の順で伸びている。ここで問題となるのは、リサイクル目的で輸入されてきた廃棄物が、国際的な条約で取引が禁止されている有害廃棄物に該当する場合である。

シリコンバレー毒性物質連合(SVTC: Silicon Valley Toxics Coalition)とバーゼル・アクション・ネットワーク(BAN: Basel Action Network)によって2002年2月25日に公表された報告書Exporting Harm: The High-Tech Trashing of Asiaには、特にアメリカからの使用済みパソコン、家電製品、携帯電話などの電気・電子製品廃棄物、いわゆるe-wasteが中国、インド、パキスタンで深刻な環境問題を招いていると報告されている(図4)。またレポートの最後には、アメリカのバーゼル条約批准化、拡大生産者責任の強化、消費者の問題喚起が主張されている。しかし、中国に電気・電子製品廃棄物を輸出しているのはアメリカだけではなく、日本でもその輸出が年々増加している[日本環境会議・「アジア環境白書」編集委員会 2003]。BANレポートでは、その一例として広東省潮陽市の貴嶼(Guiyu)をあげている(図5)。貴嶼は、地理的な利点からリサイクル産業が盛んになった地域である。子供を含め、安い賃金で雇われた労働者達がコンピューターからワイヤを引き出して燃やし、空気を発がん性物質を含んだ煙で汚したり、防護具も着けずにプラスチックや回路基板を燃やしたり、電子部品に酸をかけて、銀や金を取り出したり、鉛が含まれるモニター用のCRTを破壊する様子が報告されている[AP通信 2002]。その結果、この地域の地下水が汚染され、飲料水は他の地域から運んでこなければならなくなった。この地域のある河川で採集されたサンプルは、世界保健機関(WHO: World Health Organization)のガイドラインで許容されている汚染レベルの190倍の数値を示していた[AP通信 2002]。

図4 2001年におけるアジア地域を中心とした循環資源の越境移動の状況



Terazono *et al* (2004) より改作

図5 テクノロジー廃棄物の山（中国広東省潮陽市貴嶼）



女性達が廃棄ケーブルの被覆をはがし中の銅線を回収している。
 [National Institute of Environmental Health Sciences 2002]

(2) 中国における輸入廃棄物処理の解決策

有害廃棄物の越境移動に関しては、国際的な条約としてバーゼル条約（Basel Convention on the Control of Transboundary Movements of Hazardous Wastes and their Disposal）が締結されている。その趣旨としては、有害な廃棄物は発生国において処分することを原則とすること、やむを得ず越境移動を行う場合は条約規定に沿って適正に行うこととなっている。その上で、有害廃棄物などの越境移動が認められる条件が定められている。具体的には、輸出国は

輸入国および通過国への事前報告を行い、相手の同意のない越境移動を禁止すること、越境移動の開始から処分終了までの責任ある管理を行い、越境移動および処分が環境上良好に行われることを確保する、ということである。また、越境移動が契約通り終了しなかった場合は輸出国が回収するなどの措置をとる。なお、条約に反した場合には罰則などの措置を講じることとなっている[経済産業省 2005]。この条約は有害廃棄物の越境移動に伴う環境汚染問題を受け、1989年に、国連環境計画（UNEP: United Nations Environment Programme）を中心に採択され、1992年に発効した。2003年において、155カ国およびEUで批准されている。日本では国内対応法として「特定有害廃棄物等の輸出等の規制に関する法律」を1992年に制定、公布し、1993年に条約に加入した。しかし、このバーゼル条約には問題点があり、リサイクル用として輸出される廃棄物は規制対象外となっており、アジアの途上国を中心に行われる不適正なリサイクルの一因となっている。

（3） 今後の課題

今後は、物を出す側の先進国政府・企業が、拡大生産者責任（EPR: Expanded Producer Responsibility）にのっとり廃棄物を処理することや、途上国国内のリサイクル事情の実態を把握し、途上国での適正処理を徹底することが必要である。また、有害廃棄物の発生を最小限にするためにすべての現実的な措置をとり、その保管、輸送、処理、再処理を管理する概念である「環境的に健全な管理」（ESM: Environmentally Sound Management）にも力を入れるべきであろう。昨今では、人工衛星による産業廃棄物の不法投棄要監視地域抽出システムの開発研究[松井ほか 2002]が進んでおり、これは中国の現場でも大きな威力を発揮できるものと思われる。

Ⅲ 中国の都市における大気・熱環境

一般に都市化が進むと都市の高温域が拡大するとともに、高温域に覆われる時間が長くなり、高温にさらされる時間・人口が増加する。こうした都市の高温化現象（最近ではヒートアイランドという言葉で表現されることが多い）は、都市の住民に著しい不快感をもたらしているのみならず、高温化が住民の健康や、都市の自然生態系にも影響を与えている。都市化の進行により都市の地表面は、自然の土壌や緑地など、気化熱により周囲の気温を下げる機能を持つものから、アスファルトやコンクリートなど、水分を含まず、しかも大気を加熱しやすいものへと転換してきた。また、大都市地域では公園などの整備が進んでいるものの、宅地の緑や生産緑地などが大きく減少している。道路用地や公共施設、オフィス、高層住宅用の敷地なども、アスファルト舗装などによる不透水化が進んでいる。

一方、冷房や自動車交通など、都市のエネルギー消費活動による排熱も、大気を加熱する大きな要因となっている。暖められた大気は都市の気象・地理的な条件によって移動するため、熱の発生地域ばかりではなく、風下にも影響を及ぼしている。

また都市部には、（1）連担した市街地の形成により、自然な風の流れによる熱拡散が阻害されること、（2）沿岸部の都市では工場など大きな熱源が臨海部（風上）に位置することが多いこと、（3）都市内の地形や大規模建築物など地表面の形状により、大気が滞留しやすい弱風域

が形成される場合があることなど、さまざまな要因が集積している[一ノ瀬 2002]。

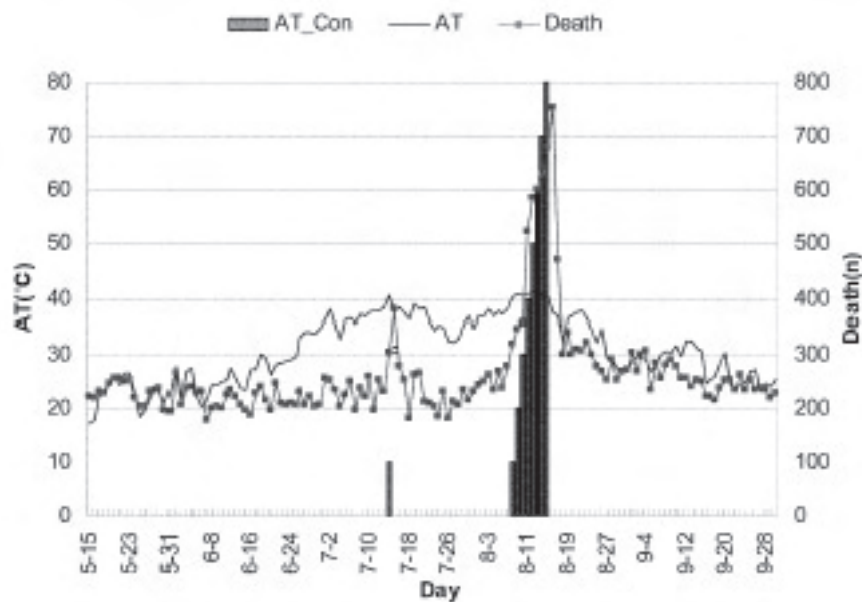
では現在、中国の都市では実際どのような問題が起きているのであろうか。都市が高温にさらされることによるリスクの最たるものは、熱中症などの健康被害である。上海では熱波の襲来など、猛暑の日に死亡者数が増加している(表1; 図6)。直接の死因を暑熱の影響だけで論じることが困難であるが、エアコンの普及率(1990年代後半では2、3件の家庭に1台)など、都市生活系インフラストラクチャの状況などもその背景として考えられる。

表1 1999年における上海の暑熱による健康被害の例

日付	最高気温	通常にくらべての死亡者数の増加分
1999年9月9日	34.9℃	45
1999年9月10日	34.9℃	69
1999年9月11日	35.2℃	85
1999年9月12日	33.3℃	41
1999年9月13日	30.8℃	54

夏季(5月半ばから9月末)における通常の死亡者数は1日あたり222人(1989年から1998年の平均)である。[Tan, J. *et al.* (2004)より改作]

図6 1998年の上海における気温と死亡者数の関係



気温(AT)が40℃を上回った日のみ、30℃からの気温差を、40℃を超過する日が継続する範囲において、超過発生日からの積算温度差(AT_Con)の形で棒グラフに表現した。死亡者数の変動と類似している。

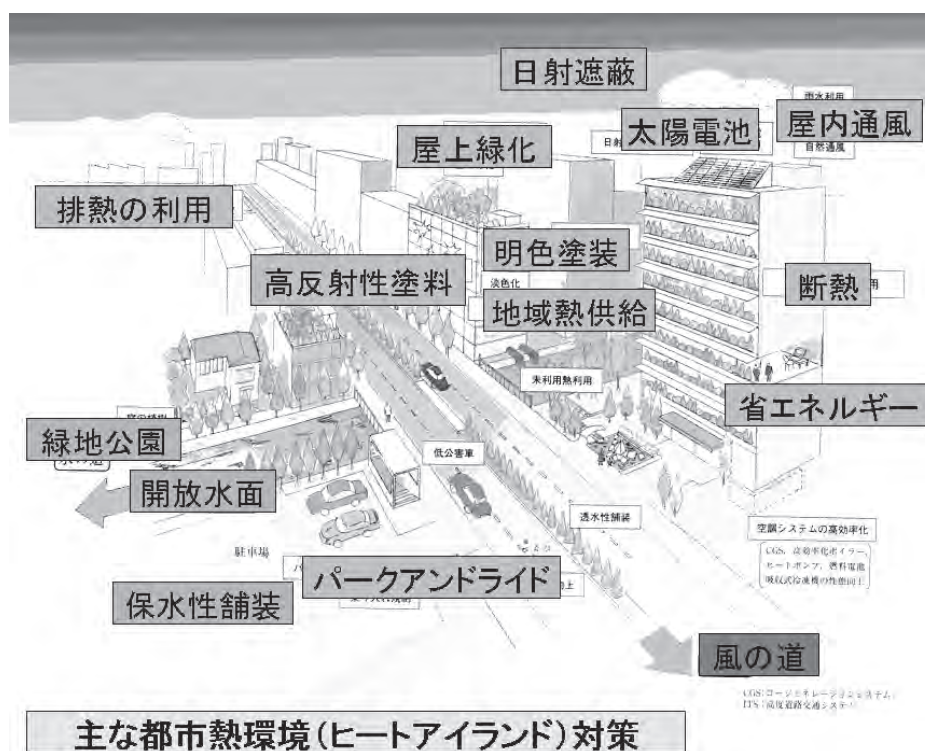
[Tan, J. *et al.* (2004)より改作]

もちろんこのような高温への暴露は、ヒートアイランドだけで起こるものではなく、熱波など、都市化の影響とは直接関係しない極端な気象現象によっても生じている。IPCCのレポートなどは、地球温暖化によってこのような猛暑の日が増加する可能性を指摘している。しかし、都市化自身もこうした高温への暴露を底上げする役割を果たしている。

都市化に起因する高温化は、いわば人為的な局地的気候改変であり、対策を講じて高温化を食い止める行為は、一種のミティゲーション（影響緩和）と考えられる。一方、都市化とは関係のない猛暑による高温化に対しては、ミティゲーションという考え方はあてはまらない。しかし近年、地球温暖化への適応（アダプテーション）という考え方が注目されており、ミティゲーションとしてのヒートアイランド対策の基本的な手法は、暑い気候のもとでより涼しく快適に、かつ安全に過ごすためのアダプテーションに通じるものと考えられる。

さて日本では、深刻化する都市の高温化に対し、今日対策として、(1)エネルギー消費に伴う人工的な排熱を減らすこと、(2)都市の地表面を大気を加熱しにくい構造・素材に改善すること、(3)都市の風通しを確保すること、の3つが主に検討されている。そのうち顕著な効果が考えられるものとしては、建物の緑化（屋上・壁面）、保水性建材の使用、壁面の淡色塗装、屋根材の反射性能の向上などによる冷房負荷の削減、緑地の保全・整備、小河川の開渠化や公園における水面の整備、大規模緑地や業務施設の（海風など卓越風を考慮した）再配置などがある（図7）。日本の地方自治体における対策事例はまだあまり多くないが、東京都における新規着工ビルの屋上緑化を義務付ける条例（2000年4月～）などが有名である。

図7 都市熱環境改善のための個別要素技術群



環境省ヒートアイランド対策手法調査検討委員会（2001）より改作

顕在化するこの問題への対応として、環境省のみならず国土交通省や東京都などが、地方自治体における具体的な施策推進に向けた本格的な取り組みを始めている。また、このような日本国内における施策づくりの動きは、アジア各国をはじめ世界にも広く注目されるようになってきている。とりわけ環境省は、予防的措置としての環境共生型まちづくりや新しいライフスタイルなどを模索しつつあり、その方向性を示すガイドラインを作ろうとしている。このようなガイドラインは、地方自治体における都市マスタープランや環境基本計画の策定に際し、熱ストレスの緩和という視点を正式に位置づけるという意味でも画期的なものである。一方、まちづくりにおける大気・熱環境の保全という考え方は、日本をはじめアジア諸国ではいまだあまり普及していない。

北京市は北緯 40 度付近に位置し、従来北国のイメージが強く、その熱環境にあまり関心が払われてはこなかったが、最近の気象データから、夏季に中心市街地の気温が近郊より最大 6°C も高くなっていることが注目されている。昨今、北京市政府も北京の夏季における暑熱現象の厳しさを認識し、都市気候関連の研究機関を設立するなど独自の取り組みに着手している。また、2008 年の北京オリンピックまでに北京市内の緑地面積を総面積の 43%までに上げる目標を作成した。しかし、ヒートアイランドに象徴される都市の熱環境の形成には様々な要素が複雑に関わっており、単純に緑地面積を増やせば快適性が向上するわけではない。

日本建築学会・クリマアトラスワーキンググループでは、2001 年より日本国内の複数の都市を対象に、クリマアトラスワークショップと称する市民参加型の検討会を行ってきている。これは現在までに、神戸（2001 年）、北九州（2002 年）、仙台（2003 年）、神戸（2004 年）、長野（2005 年）を対象に開催されてきている。シュツットガルトなど、ドイツのいくつかの内陸中小都市においては、市街地における開発行為に際し、ローカルな気候や大気環境への悪影響を回避するために計画段階で都市気候・都市熱環境の知見を反映させるべく、専門家と政策担当者、市民が合意形成に向けた議論を行う際の基礎資料として各種の環境主題図（1:5,000～1:200,000）の作成が行われ、それがよりよい都市環境の実現のために活用されている[一ノ瀬 1999]。この主題図群をクリマアトラスと称する。このワークショップにおいては、研究者と政策担当者、デザイナー、市民といった各主体がクリマアトラスにもとづいてラウンドテーブルで議論しながら、例えば緑地の拡充や卓越風向に配慮した街路の設計など、具体的な市街地の整備プランを提案したりして、都市開発の方向性をマップの形にまとめる作業が行われる。

著者は現在、中国の都市を対象としたクリマアトラスワークショップを実施し、都市の熱環境の悪化防止、あるいは改善を実現するような都市計画、さらには都市開発が具体的な都市において実現することをめざしている。中国におけるクリマアトラスワークショップを通じ、このような開発が涼しく快適な都市環境の実現につながる実証された場合、都市計画・都市開発の世界的なパラダイムシフトにつながるものと期待される。現在日本では、さまざまな開発行為の現場において、涼しく快適な都市環境を実現するため、あるいは開発に伴い夏季の暑熱現象がより厳しいものにならないようにするため、開発の計画段階で都市気候や都市熱環境の知見を取り入れるといったスタンスは一般的なものではなく、やはり開発に伴う経済的なメリットを最大化するための開発が主流であると思われる。日本ではそれぞれの土地にその土地の所有者がおり、法的規制の範囲でその土地をどう変えていくのかについては、彼らの意思に

よるところが大きい。つまり、日本をはじめとする多くの先進諸国では、クリマアトラスワークショップの成果品として「ヒートアイランド緩和策」を盛り込んだ市街地の整備プランが提案されたとしても、それが地権者の利益につながらないなど、土地の所有者や施主の理解を得られないものであった場合、そのプランが実現する可能性は低いといわざるを得ない。

昨今、日本をはじめ世界の様々な都市で、都市環境の再生について大きな関心が集まっており、市街地に自然度の高いビオトープを再生するミティゲーションによる手法が注目されている。これは、涼しく快適な都市環境の実現手段としては極めて有効と考えられるが、従来数値計算で仮想的には評価されえたものの、実地でその効果が検証された機会は極めて乏しく、その実現に向けた合意形成を進めるための説得材料が希求されていた。一方、中国のように行政トップの判断が民意に優先するような国家では、いわゆる合意形成のための手続きは、日本のそれにくらべ格段に簡素なものであり、例えば行政トップがクリマアトラスワークショップの成果に対して理解を示した場合、その成果を反映した都市開発が実現する可能性が高いものと考えられる。

図8 重慶大学におけるクリマアトラスワークショップの様子





2005年8月に著者は、重慶大学の黄光宇教授（建築設計デザイン学）らの協力を得て、重慶市において中国初のクリマアトラスワークショップを試験的に実施した（図8）。その際地元建設業界などから50名近い参加者が集まり、わが国での先行事例に忠実なスタイルで以下の議論が行われた。重慶は平坦な土地が少なく、傾斜の急な斜面に道路網を展開しなくてはならないため、傾斜方向に直交する（等高線に平行な）道路の割合が大きく、結果的に斜面における緑地面積の割合が小さくなっている。その一方で水辺空間を適切にデザインすることにより、冷涼な気流を活用した良好な居住地域を整備できる可能性も指摘される。また、このようなワークショップの手法はかつて人民公社において農民たちを組織して行っていた農村運営の方式に共通する部分があり、中国の街づくりの現場にも受け入れられやすいのではないかと（黄教授のコメント）。

中国には、都市計画・建築計画的な手法にもとづいて住みよい環境を創造する「風水」という伝統的知識体系がある[茅山仙翁編 1997]。風水とは本来、土地の相をみるにはその土地の風と水を観察しなければならないという自然観のことである。ここには、都市の熱環境に関連する記述も見受けられる。ドイツにおける都市気候保全に配慮した都市計画[一ノ瀬 1999]は、科学的な根拠にもとづいて行われているものではあるが、「西洋の風水」と考えてよいだろう。その意味では、クリマアトラスの理念がアジアに受け入れられる可能性は大きいものと思われる。

IV 中国の都市における水資源

アジアモンスーン地域は、特有の気象、地質構造の上に特徴的な水文、地形、土壌条件を形成し、人間の生存もその自然条件に適合した様式で維持されている。この地域性を重視し、当該地域に特有な水文循環過程をモデル化することにより、自然・人工改変に伴う、当該地域特有の水資源変化を予測し、その対応策を検討することは重要である。当該地域のうち半乾燥地域の代表である黄河流域は、著しい人口増、西部地域の大開発などに伴い、上下流の水配分問題が顕在化し、上流域での非効率灌漑、下流部での水不足、断流、土砂の堆積、地下水位低下など深刻な事態に直面している[一ノ瀬ら 2004]。著者は現在、黄河流域（華北平原を含む）全体における地下水資源需要分布を0.1度グリッドで把握し、さらに都市域については2kmグリッドで把握する作業を進めている。そのため流域の土地利用／被覆、人口分布、都市域分布および産業構造等、各種社会経済統計データ（地下水資源需要関連）を収集し、0.1度グリッドの現況マップを整備することが必要となっている。

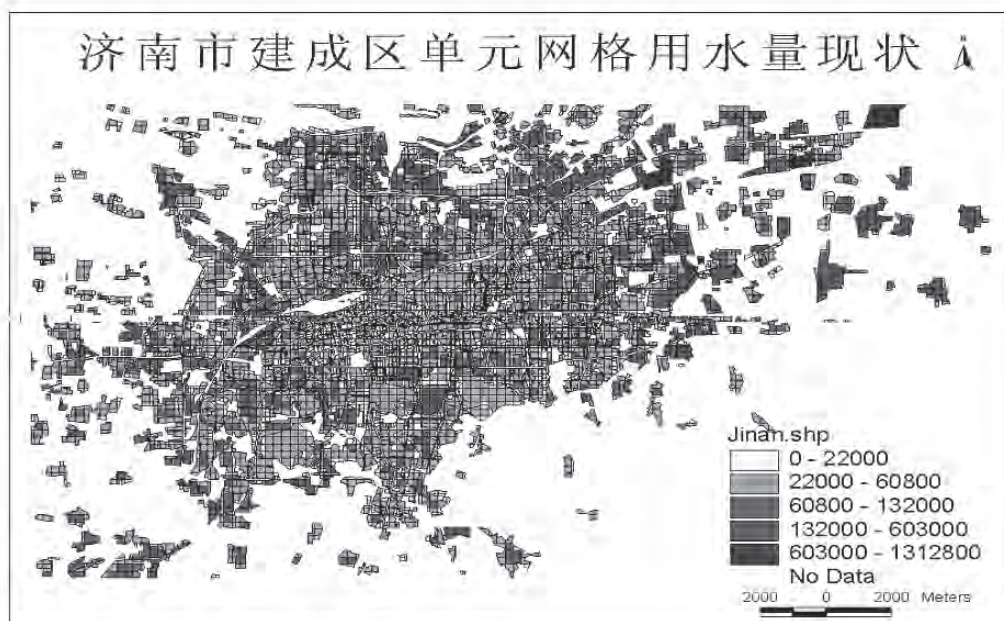
また著者らは2004年3月中旬に、黄河支流の渭水（鄭州～西安～蘭州）に沿って、一定規模の都市周辺地域における水資源の状況を概観すべく、現地にて一般人民よりヒアリングを行い、地下水資源に対する認識を調査する機会を得た[一ノ瀬ら 2004]。都市用水（生活用水・工業用水）の主な水源としては、済南～鄭州では黄河の河川水、洛陽では黄河支流の河川水（ダム）、三門峡では豊富な泉水（浅層地下水）、西安では渭水支流の河川水（ダム）と地下水、宝鶏では渭水の河川水（ダム：水資源は不足気味）、天水では豊富な泉水ということであった。相対的に給水総量の多い西安では夏の湯水がしばしば問題になるという。このように、黄河流域における水源構成は多様なものと考えられ、既存の社会経済統計指標などから地下水資源需要を推定する

にあたっては、事例解析都市における詳細な検証が不可欠であると考えられる。よって著者らは都市域における需要分布の推計手法開発のため、事例解析都市として黄河下流域の山東省済南市（東西 30km・南北 17km）を対象に、原単位法による地下水資源需要マップの描画作業（解像度 250m）を行った[一ノ瀬ら 2005]。

済南市は温帯半湿潤の大陸性気候に属する地域にある。年降水量は 600～700mm 程度であり、その 6 割が 6 月から 9 月に集中する。市の南部は古生代の石灰岩よりなる丘陵地帯であり、かつては市内のあちこちに泉が湧き出るほど地下水量は豊富であった。しかし 2004 年 2 月には地下水保護を目的として済南市における地下水利用は厳しく制限され、黄河の河川水を主たる水源としなければならなくなった。この高精度のマッピングにあたっては、用水量の原単位作成のため、居住者や事業者への広範なヒアリング、アンケートを実施した。

近年における済南市の水平規模の拡大発展は急速であり、1976～1986 年には東北に向かって市域が拡充し、1986～2002 年には東西方向に拡充が起こっているほか、南方、東北、西北への展開も見られる。市の北部には以前低平な耕作地が広がっていたが、最近では徐々に工業用地や居住用地へと転換している。済南市の城区で最も用水量に占める割合の大きい用途類型は工業用水である。特に重工業やビール工場、発電所などの寄与が大きいものと思われる。2003 年の総用水量は $1.69 \times 10^8 \text{m}^3/\text{年}$ に達し、済南市城区の 55% に及ぶ。つまり、済南市は依然典型的な工業都市といえる。用水量が比較的多いのは建成区の北部、西部および東部である。済南市城区の居住用地における用水量は $0.80 \times 10^8 \text{m}^3/\text{年}$ である。これは城区全体の 26% を占める。その水源の内訳は、70% が地表水であり、30% が地下水である。広場や緑地における用水量は $0.09 \times 10^8 \text{m}^3/\text{年}$ であり、城区全体の 5.8% を占める。この用水量は降水量など天候の影響を強く受ける。大西ら（2004）は産業連関表にもとづく経済学的手法から地域（西安市など地級行政単位）の水需要構造を推定しており、著者らとは異なる間接的なアプローチも存在する。

図9 済南市の建成区における用水量分布（250m グリッド）：一ノ瀬ら（2005）



著者らが調査した情報を統合し、用水量を5段階で表示したのが図9である[一ノ瀬ら 2005]。これは中国の都市において、都市スケールでの人間活動の詳細な空間分布を表現した数少ない事例である。昨今東京など日本の大都市で整備が進んでいる空間情報基盤へのアクセスが困難（機密情報の部類）な中国の都市において、この種の調査を通じ、空間情報基盤を整備することは、前節の大気・熱環境の事例でも述べたとおり、環境に配慮した都市空間のデザインを進めていく上で必須のことと考えられる。

V まとめ

以上では、近年顕著な発展を見せる中国の都市をめぐるいくつかの環境問題を取り上げ、人と自然が調和した都市のあり方についての提言を試みた。人と自然の和諧を実現する街づくりを中国で実現するためには、風水の伝統を重んじつつも、科学的な根拠にもとづいた環境調和型のデザインを、合意形成過程および空間情報基盤整備を重視して進めることが重要であり、それにより、日本などに先駆けた成功事例を実現する可能性もおおいに見出せる。

参考文献

- 一ノ瀬俊明 1999. 「ドイツの Klimaanalyse ～都市計画のための気候解析～」『天気』46: 709-715.
- 一ノ瀬俊明 2002. 「地方自治体におけるヒートアイランド対策～環境省委員会の活動～」『大気環境学会誌』37(6): A71-A84.
- 一ノ瀬俊明・大坪国順・王勤学・張祖陸 2005. 「中国・済南市における高解像度水資源需要マップ作成の試み」『土木学会地球環境シンポジウム講演論文集』13: 329-334.
- 一ノ瀬俊明・大坪国順・王勤学・張祖陸・衣笠聡史 2004. 「黄河流域における地下水利用の現状把握と将来予測手法の開発」『環境システム研究論文発表会講演集』32: 551-556.
- 一ノ瀬俊明・松村寛一郎・中谷友樹・中野泰臣・Elvidge, C. 2002. 「夜間光衛星画像データ DMSP によるアジアの地域別経済活動強度推定」『土木学会地球環境シンポジウム講演論文集』10: 299-303.
- 『AP 通信』2002. 「発展途上国を危険にさらす米国の電子機器廃棄物」2月25日.
- 大西暁生・小澤亮輔・森杉雅史・奥田隆明・井村秀文 2004. 「西安市における流域水資源需給将来予測に関する研究」『土木学会地球環境シンポジウム講演論文集』12: 87-93.
- 環境省 2005. 『平成17年版環境白書』環境省
- 環境省ヒートアイランド対策手法調査検討委員会 2001. 『平成12年度ヒートアイランド対策手法に関する調査検討報告書』
- 経済産業省 2005. 『持続可能なアジア循環型経済社会圏の実現へ向けて』経済産業省
- 中国環境問題研究会編 2004. 『中国環境ハンドブック 2005-2006年版』東京 蒼蒼社
- 中谷友樹 1999. 「DMSP/OLS Stable Night Light Image による中国人口分布推定モデルと人口グリッド補間」『LU/GEC プロジェクト報告書V』13-23.
- 日本環境会議・「アジア環境白書」編集委員会 2003. 『アジア環境白書 2003/04』東京 東洋経済新報社
- 彭徳富 2004. 『中国の固形廃棄物対策』産業と環境の会 廃棄物対策国際シンポジウム
- 松井康弘ほか 2003. 「不法投棄の発生要因に関する構造モデルの構築」『環境衛生工学研究』16(3): 41-46.
- Division of Environmental Conventions of UNEP, The Basel Convention, GRID-Arendal and DEWA-Europe 2004. *Vital Waste Graphics*.
- Elvidge, C.D., Baugh, K.E., Kihn, E.A., Kroehl, H.W., Davis, E.R., and Davis, C.W. 1997. "Relation between satellite observed visible-near infrared emissions, population, economic activity and electronic power consumption." *International Journal of Remote Sensing* 18: 1373-1379.
- Ichinose, T., Matsumura, K., Nakaya, T., Nakano, Y., Elvidge, C., and Imhoff M. 2002. "Estimation on regional intensity of economic activity in Asia: An application of nocturnal light image by DMSP/OLS." *Proc. of 2nd Workshop of the EARSeL Special Interest Group on Remote Sensing for Developing Countries* (Bonn).

- Imhoff, M.L., Lawrence, W.T., Elvidge, C.D., Paul, T., Levine, E., Privalsky, M.V., and Brown, V. 1997. "Using Nighttime DMSP/OLS Images of City Lights Estimate the Impact of Urban Land Use on Soil Resources in the United States." *Remote Sensing Environment* 59: 105-117.
- National Institute of Environmental Health Sciences 2002. *Environmental Health Perspectives* 110(4)
- Tan, J., Kalkstein, L.S., Huang, J., Lin, S., Yin, H., and Shao, D. 2004. "An operational heat/health warning system in Shanghai." *Int. J. Biometeorol.* 48: 157-162.
- Terazono, A., Yoshida, A., Yang, J., Moriguchi, Y., and Sakai, S. 2004. "Material cycles in Asia: especially the recycling loop between Japan and China." *Journal of Material Cycles and Waste Management* 6: 82-96.
- The Basel Action Network, Silicon Valley Toxics Coalition 2002. *Exporting Harm: The High Tech Trashing of Asia.*
- World Bank 2005. *Waste Management in China: Issues and Recommendations.* Working Paper No. 9
- 茅山仙翁編 1997. 『中国風水大全』 陝西人民教育出版社 (中国語)

[統計資料]

『国連人口統計 2002』

『中国環境年鑑 1981-2003』

中国国家環境保護局 1981-1990. 『中国環境統計資料匯編』 中国環境科学出版社

中国国家環境保護総局 2003. 『中国環境状況公報 (ホームページ)』

中国『固体廃棄物環境污染防治法』

『中国統計年鑑 2003』 中国統計出版社