

## 特集

## 砂漠緑化システム

## 砂漠緑化都市

## Plan of a Desert City

前垣内 正 記\*

Masaki Maegaito

## 1. はじめに

過去、人間の多くはその生活の場を集落に求めてきており、集落は年と共に村、町、都市へ変ぼうしてきた。そして、それらの都市の大部分が緑を切り開くことによってその規模の拡大を図ってきた。近年になると都市は益々その規模を拡大し、本来最も安全で環境の良いことが求められる生活の場が膨大なエネルギーの消費、様々な物質の多量廃棄等によって、その地域のみならず地球規模での環境に悪影響を与える存在となってきた。

このような状況の中で従来とは反対に緑を増やし、環境に負荷を与えない都市のコンセプトが求められるようになってきている。

都市での主要なエネルギー源はクリーンな太陽エネルギーとし、電気自動車、自転車を主体とした交通システム、リサイクルを徹底させたゴミ処理システムで汚染物質を排出しないだけでなく、都市周囲の砂漠を積極的に緑化してCO<sub>2</sub>の増加を抑制する。

近年になっての有名な人工都市としては、ブラジルのブラジリア、オーストラリアのキャンベラ等があり、

砂漠地域での人工都市としてはサウジアラビアのヤンブーがある。これらは何れも近代的な都市計画によって作られた都市で、既存のものと比較して機能的ではあるが環境への負荷という面から十分であるとはいえない。

これらを背景としてECにおけるブリュッセルのような管理型都市をオーストラリアの砂漠地帯の理想の環境都市として描いたものを以下に示したい。

## 2. 立地点の状況

オーストラリアは面積約770万km<sup>2</sup>の広大な国土を持ち、北部は亜熱帯降雨林、東部から南東部には肥沃な農牧畜地帯が広がっている。内陸部から西部にかけては広大なグレートビクトリア砂漠、グレートサンデュー砂漠などの乾燥地帯が占めている。シドニー、メルボルンに代表される南東部に開発が集中しており、国土の3分の1を占める西オーストラリア州はその大部分が砂漠で、人口160万人の内パースに110万人が集中して特に北西部地域は開発が進められていない。

この北西部の砂漠地域において

①北部の降雨林地帯から水を供給できること、



図-1 砂漠緑化都市鳥瞰図

\* 清水建設(株)砂漠開発エンジニアリング部課長  
〒105-07 東京都港区芝浦1-2-3



図-2 都市の立地点

- ②比較的平坦な地域であること、
- ③物資運搬の容易性から海岸からそれ程離れていないこと等から選定した立地点が図-2である。

この地域は年間降水量が約300mmで12月から3月にかけてその8割が集中する。また年間日射量は約800KJ/cm<sup>2</sup>で日本の約1.5倍あり、世界でも最も日射量の多い地域の一つである。夏季の平均気温は30℃を越え、最高気温は40℃を軽く越える。冬季でも平均気温は21℃あり日本の初夏に近いが、砂漠気候のため夜間は10℃を下回る。平均湿度は30~50%、非常に乾燥していると言えよう。

地質は概ね砂質で東西方向に十数mの高さの砂丘が数百m置きに連らなっているが、砂丘の移動は少ないようである。川は全くなく塩分を含んだ湖が点在している程度。

世界で最も孤立している100万都市と言われるパースから約1,500km離れており、物資の輸送条件は極めて悪い地域と言える。

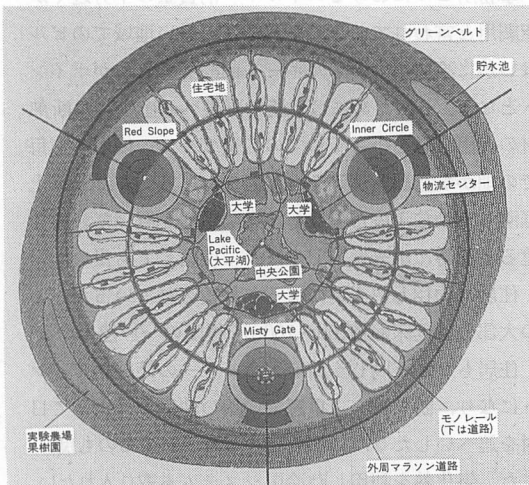


図-3 都市の配置



図-4 キャンベラの街並

### 3. 都市計画

都市人口は30万人と設定した。これは都市として自立でき、インフラやレジャー施設さらに商業施設等が整備できる規模、また生活しやすい規模である。日本では50~60万人の都市、例えば松山、浜松等が住みやすいと言われているが、砂漠の中の新都市と言うことからこれらより小さめで丁度良いであろう。

都市面積は約160km<sup>2</sup>、これは1km<sup>2</sup>当たり約1,900人で多摩や港化ニュータウンの約1/5の密度となり、キャンベラと同程度である。キャンベラは日本人の感覚からするとどだっ広いと感じるか、これからの都市はこの程度のゆとりは必要なのであろう。

都市形状は全体を効率良くするため円形とし、その周囲に都市を砂から守るためのグリーンベルトを幅1kmで設ける。都市の中央には広大な人工湖を設け、人工湖の中にはゴルフ場、球技場等のレジャー運動区域となる人工島がある。人工湖で釣り、ヨットを楽しむ人々もいるであろうし、この区域は週末をレジャーで過ごす人々の集う所となる。

湖に面した3つの区域にそれぞれ大学を中心とした研究機関を配置し、各国からの学生、研究者が集まる国際研究区域となるだろう。

都市の構能の中心となる管理業務区域、都市を動かす市庁舎、市議会等の市業務区域、ホテル・会議場・大規模商業施設等のコンベンション区域の3つの区域が三角形に配置される。これらをモノレールが環状線で結ぶと共に、環状線から伸びる形でモノレールが空港へのアクセスとなる。

都市の物資運搬・交通の軸は3本あり、1本は北東の方向でフィッツロイ河よりパイプラインで水が送られてくる。1本は北西で空港を経由して海岸まで100km、流通の主軸となる。最後は内陸部に向かい、次

表1 都市の概要

施設	内 容	延床面積	敷地面積
業務施設(オフィス)	オフィスビル	300ha	300ha
商業施設(店舗)	独立店舗 1300店 (5.3ha) 飲食店 110店 (0.5ha) スーパー 7店 (2.4ha) 百貨店 2店 (6.0ha)	28ha	100ha
住宅施設	約120000世帯	900ha	6000ha
コンベンション施設	国際会議場 15ha ホテル 50ha (5000室)	65ha	100ha
公共施設 教育施設	保育所 24 幼稚園 68 小学校 50 中学校 25 高校 13 大学 3	120ha	900ha
医療施設	総合病院 2 診療所 100 保健所 3	30ha	80ha
集会施設	集会所 50 公民館 30 図書館 6	20ha	50ha
公共施設	市役所 1 出張所 6 警察署 3 交番 75 消防署 3 消防派出所 15 郵便局 30	15ha	40ha
スタジアム	1ヶ所		50ha
ゴルフ場	2ヶ所		200ha
スポーツセンター	10ヶ所		100ha
インフラ施設	下水処理場 10万t/日 1ヶ所 ごみ処理場 1000t/日 1ヶ所		5ha 4ha
小 計		1478ha	7929ha
道 路			3750ha
緑地公園	湖, せせらぎの水面積 1000haを含む		4500ha
合 計		約1500ha	約16000ha

の都市へのアクセスとなろう。これらの主軸が都市域に入った所に物流センター及び駐車場が設けられ、物資だけでなく人間も都市内の交通システムに乗り換える。

学校・病院等の公共施設は住宅区域に点在するように配置されるが、下水処理場、浄水場、清掃工場等は都市外周のグリーンベルト内に設けられる。また、グリーンベルト内には外部から送られてきた水を一時貯留する貯水池と実験農場が設けられ、水産、農業等の実験が行なわれるようになるだろう。

グリーンベルトの外側には5つのサテライトを設け、太陽熱発電設備と植林拠点とする。ここで作られた電気と熱水が都市に送られると共に、都市からは植林用の水が送られてきてここを拠点として年々植林地を広げて行くようになる。

#### 4. 建物

都市における勤務者は10万人、1人当たり30m<sup>2</sup>として延床面積300haのオフィスビルが必要となる。これらのオフィスビルは徹底した省エネルギー型ビルと

したい。

土地からの制約はほとんどないので、高層ビルとはせず3階建て程度とし荷物の運搬以外にはエレベーターを使用しない。健康にも良く一石二鳥である。

事務所ビルにおけるエネルギー消費量の半分近くが空調用と言われており、ましてこの暑い地域でのビルはいかに冷房用のエネルギーを節約できるかがポイントとなる。そのためには外壁や屋根への徹底した断熱材の使用、窓を小さくしての二重ガラスの使用や室毎での細かな空調管理等を行う必要がある。また、屋上庭園も有効な手段だろうし、太陽電池を置いて日射を遮ると同時に出来た電気をビルに供給しても良い。

住居は約12万戸必要になると見積られているが、その大部分は延床面積100~160m<sup>2</sup>程度の一戸建となる。

住居もビルと同じく冷房エネルギーの節約がポイントになり、断熱材、二重窓の使用の他庭木によって日射を遮へいしたり、一部の室を半地下にするのも良い。また、気化熱を利用した冷房システムも取り入れたい。

屋根には太陽電池と温水器が設置され電気とお湯が

供給される。都市では化石燃料の使用は原則禁止となり、煮たきは電気エネルギーによるものとなる。また、太陽熱利用のバーベキューセットなどもヒット商品となるかも知れない。

### 5. 交通システム

最も近い都市は200km離れたブルームであるがここは人口約1万人で、大都会であるパースからは1,500km離れている。従って外部との交通機関は航空機が主となり、都市郊外に3,500m級滑走路を2本持つ年間乗降客100万人規模の空港を設置する。空港から都市にはモノレールが用いられ、そのまま都市を循環する環状線へと乗り入れられる。

都市内の基幹交通はモノレールで最大輸送人員10,000人/Hを想定している。懸垂タイプとしてレール上面には太陽電池を設置して有効活用を図りたい。

個人の足として自動車が用いられるが、これも化石燃料を用いる従来タイプは禁止され、全て電気自動車となる。外部の都市から自動車で来た場合は物流センターに設けられた駐車場で電気自動車に乗り換えることになる。また、個人の車の所有は制限し、公共の足タクシー方式としたい。タクシーストップから必要な時に無人タクシーを呼び出し、行先を指示して自動的に運行される。限られた都市内で同じタイプの車が走る場合を想定すると、この方式は比較的容易に実現できるだろう。

港、空港からの物資、さらに大型トラックで陸路運ばれてきた物資は全て3ヶ所に設けられた物流センターに集められる。ここから電気トラックに積み換えられ、目的の所まで運ばれる。大規模施設には自動配送システムも取り入れられるようになるだろう。

都市で最も重要な交通機関は自転車と徒歩となる。直径14kmの都市なので端から端まで自転車を使っても1時間あれば着いてしまう。しかも都市全体が平坦であり、自転車に向いている。従来の都市は自動車優先で、自転車や歩行者は邪魔者扱いされているが、この都市では自転車と歩行者が主役となり、車は片隅に追いやられるだろう。道路には自転車の専用レーンと歩道をゆったりと設け、日差しを遮る街路樹をふんだんに植える。また、少しでも気温を下げるため、歩道に沿ってせせらぎも設けられるだろう。

### 6. 水資源

30万人の都市に必要な水としてはまず生活用水があ



図-5 下水処理水を用いたユーカリ植林地

る。炊事、洗濯、風呂等の家庭用水とビル等で使う業務用水であるが1人1日当たり500ℓと見る。これは日本の全国平均よりやや多い程度であるが、都市全体では15万tの量となる。下水は徹底して再利用する。生活用水の約半分はトイレ用水であるが、これには下水を処理した中水を用いる。またそれ以外の下水処理水は庭への散水や公園・緑地の散水に用いる。図-5はオーストラリアで下水処理水をかんがい用いている例であるが、通常の水よりも木の生育は良いようである。

生活用水以外では緑のための水が必要である。約3,500haの公園・緑地と5,000haのグリーンベルトの維持、さらに毎年1万haの植林を続けるための水である。保水剤やドリップかんがい等の節水技術を活用するが、公園、グリーンベルトに17万4千t/日、植林に104万t/日散水しなければならない。

忘れてならないのは湖やせせらぎからの蒸発で、約10万t/日蒸発すると見込まれる。湖とせせらぎを小さくすればこの分を減らすことは可能であるが、そ

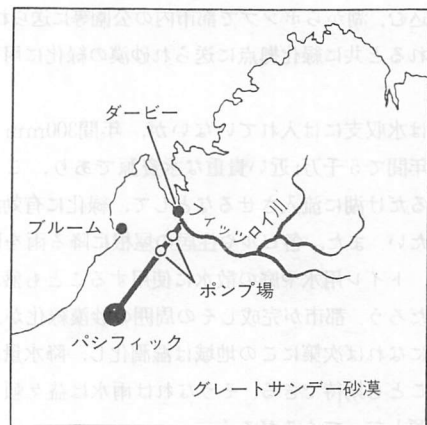


図-6 水質源の確保

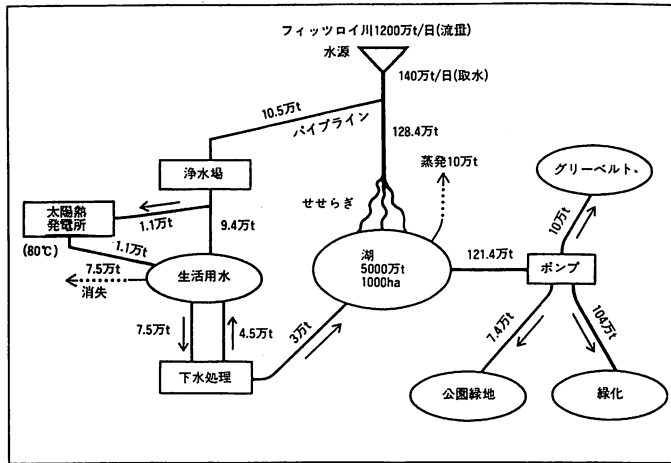


図-7 水の収支

れよりも人々に楽しみとやすらぎを与える役割の方が大きい。

これらの水需要を合計すると1日当たり140万tとなる。この水を供給するために北東250kmを流れるフィッツロイ河に貯水施設を設け、ここから送水する。北部は年間降水量1,000mm以上の地域であり、フィッツロイ河も平均流量で1,200万t/日と十分だが季節変動が大きいため貯水施設が必要となっている。

ここから直径2mのパイプライン4条を使ってポンプで中間の高地まで圧送し、そこから5条で自然流下させる。ポンプは3,900kW級が8台必要だが、動力は太陽電池とする。

送られてきた水はグリーンベルト内の貯水池に一時貯えられ、ここから生活用水の分は浄水場に送られる。緑に使用される分は都市内をせせらぎとして流れ、湖に注ぎ込む。湖からポンプで都市内の公園等に送られ、散水されると共に緑化拠点に送られ砂漠の緑化に用いられる。

雨水は水収支には入れていないが、年間300mmとして1年間で5千万t近い貴重な水資源であり、これをできるだけ湖に流入させるなどして、緑化に有効活用させたい。また、各ビルや住居の屋根に降る雨を貯水して、トイレ用水や庭の散水に使用することも盛んになるだろう。都市が完成しその周囲の砂漠緑化が進むようになれば次第にこの地域は湿潤化し、降水量が増えることも期待できる。そうなれば雨水は益々頼れる水資源となってくるだろう。

## 7. ごみ処理

東京では大問題となっているごみ処理だが、砂漠の中の都市と言えど油断していると同じ道を歩くことになりかねない。ごみ処理では過剰包装の追放、リサイクル容器的活用、分別収集の徹底など市民の生活様式に係わる部分がポイントとなる。

各家庭からでるごみが1日当たり750t、事務所等から250t計1,000tと想定されるが、徹底した分別収集を行いたい。収集は真空収集システムも考えられるが、当面は収集エネルギーがより少ないパッカー車を用いる。

台所等からでる生ごみは落葉・芝生の切りくず等の庭ごみと共にコンポスト化され砂漠緑化の肥料となる。下水処理からでる汚泥も同じく貴重な肥料とされる。可燃物は焼却場で焼却処分されるが、その際の焼却熱も2,000kcal/kg以上はあり、これも回収して有効活用できる。十数%は灰として残るがこれは飛散や浸出の問題が生じないように固化して埋設処分としたい。

不燃物はガラス・金属等に分け、可能な限り資源回収、リサイクルを図る。リサイクルできないものについては焼却灰と同じく埋設処分される。

## 8. 緑化

都市の外側5ヶ所に設けられた緑化拠点を中心として、毎年1万haの植林を行うことを目標とする。

この地域は砂丘地帯であり、まず砂の移動を防止することが第1歩となる。移動防止の方法としてはアス

ファルトや合成樹脂系の乳剤を砂の表面に吹き付けるマルチング等の方法もあるが、ここでは稲ワラ等を用いる草方が良いであろう。この方法は中国の蘭州沙漠研究所で開発された工法で、稲や麦のワラを1m程度の格子状に埋め込み、地上には30cm出すことによって地表の風をやわらげるものである。2~3年するとワラは腐食し、土壤に有機分を与えることにもなる。より自然を大事にした工法と言える。

樹木を植える箇所の土壤は粘土分や有機分が少なく樹木の生育に適しとは言えない。ここに吸水ポリマーや無機質系の保水剤を混入し、保水性・保肥性を高めたい。これによってより少ない水で樹木を育てることができるようになる。また、かんがいの方法も畦間かんがいやスプリンクラーかんがいでなく、小口径のホースから小量ずつ給水するドリップかんがいでし水を節約する。

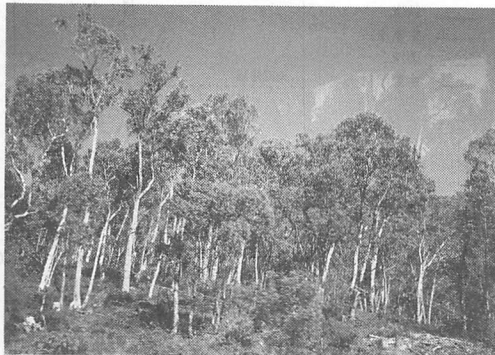


図-8 ユーカリの自然林

樹木の種類はオーストラリアに自生していて最も一般的なユーカリを主とする。ユーカリはオーストラリアを原産地とする常緑広葉樹で、600~800種と言われる程種類が多く、樹高50m以上のものから灌木状のものまで多種多様にわたっている。その特長は成長が早く、病虫害に強いことや、種類が多いことから塩分や乾燥、気温等その土地に合ったものを選ぶことができる等があげられる。

都市周辺のグリーンベルトは市民のハイキングや森林浴といったレジャー地域にもなるので、樹木の種類を数多くするだけ自然林に近づけたものとしたい。ユーカリの他モクマオウやクロマツ、アカシア等を用いるが、アカシアはチッソを固定するので肥料の代りともなる。また果樹を植えて鳥が住みやすくしたり、雑草の種をまいてより自然に近づける工夫も必要とな



図-9 自然林と変らない鉱山採掘跡地の植林

ろう。

砂漠緑化は第1の目的がCO<sub>2</sub>の固定なので生長の早い樹木が望ましく、ユーカリと松を用いたい。ユーカリの種類としては*Eucalypts camaldulensis*, *E. citriodora*, *E. globulus*等を用いるが、ブラジルにおける産業植林で35m<sup>3</sup>/ha・y (1985年)の生育量であるが次の10年間に50m<sup>3</sup>/ha・yになるだろうと報告されている。この生育量は太陽エネルギーによってCO<sub>2</sub>が葉や幹などの形で貯えられたものであり、CO<sub>2</sub>削減に寄与できるであろう。

一方、安定期の森林は新たなCO<sub>2</sub>の吸収固定と落葉などによるCO<sub>2</sub>の開放が釣り合い、CO<sub>2</sub>の定常状態になるとも言われている。これに対して積極的に生長期の樹木を伐採し、熱分解で油化して石油代替エネルギーとすることでCO<sub>2</sub>増加を抑制しようとする提案もある。伐採と植林を繰り返すことによってより効率良くCO<sub>2</sub>の抑制を図るものである。

## 9. おわりに

砂漠はまだその自然条件の厳しさから、その大部分が未利用地として残されているが、CO<sub>2</sub>の増加、人口の急増等の対策に必要な貴重な資産である。ここに人間の新たな生活の場を作ると共に積極的な緑化を図り、CO<sub>2</sub>抑制に寄与することの意義は非常に大きいと言えよう。

都市の完成まで22年、費用は10兆円と見積ったが、年間にすれば5,000億円弱、日本のODA予算が1兆2千億を越えようとする時代にそれ程荒唐無稽な話ではないと思うがどうだろうか。

(本文は日経サイエンス1991年1月号に記載された「砂漠緑化都市パシフィック」の内、当社担当分を修正加筆したものである。)