

投稿論文(和文)

PAPERS

下水熱有効利用可能性解析ツールとしてのGISの開発

一ノ瀬俊明¹・川原博満²・花木啓祐³・松尾友矩⁴

¹正会員 工博 東京大学助手 先端科学技術研究センター (〒153東京都目黒区駒場四丁目6-1)
(現在 国立環境研究所 地球環境研究センター (〒305茨城県つくば市小野川16-2))

²正会員 工修 富士通エフ・アイ・ピー株式会社 第2科学技術システム部 (〒150東京都渋谷区神山町四丁目14)

³正会員 工博 東京大学教授 先端科学技術研究センター (〒153東京都目黒区駒場四丁目6-1)

⁴正会員 工博 東京大学教授 大学院工学系研究科都市工学専攻 (〒112東京都文京区本郷七丁目3-1)

代表的な未利用エネルギーである下水から得られる温熱エネルギーを都市内で有効に再利用するための地域熱供給施設の立地について、熱需要と熱供給事業における排熱利用との空間的整合性に対する解析を行うためのGISを開発した。また、それを用いて東京23区をフィールドとした配置案の検討を試みた。具体的には、下水熱回収地点周辺1,250m四方を供給対象領域とした場合に温水供給を通じて賄うことが可能な熱量が最大となるようなケースを求めた。利用可能熱量の多い落合、三河島処理区では幹線が長く回収候補地点が多い。また温熱需要の大きな地点が多いため、ヒートポンプ1基当たりの利用可能熱量も多い。地域熱供給施設適地選定システムとしてGISを利用する手法は有益であると思われる。

Key Words: GIS, energy, heat, sewage

1. はじめに

都市にはその外部から製品、材料等の物質に加え、水やエネルギーなどが流入し、都市活動の結果それらは廃棄物、下水、排ガス、排熱として環境中へ放出される¹⁾(図-1)。このプロセスを生物の新陳代謝になぞらえて「都市代謝」と呼ぶ²⁾。都市活動が環境へ与える負荷を軽減することはすなわち、この都市代謝構造を最適化することにはかならない。一方都市活動に伴い発生する下水やゴミについては、ヒートポンプや焼却によって温熱エネルギー(暖房用及び給湯用)を回収することが可能であり、こうした都市内未利用エネルギーの有効利用は、都市におけるエネルギーの流れをクローズドなものとし(図-2)、環境への負荷を抑えるのみならず、資源やエネルギーの有効利用という意義をも有している。

ゴミ焼却場からの温熱供給については、下水に比べ熱源が非常に高温であり、発電と組み合わせたコ

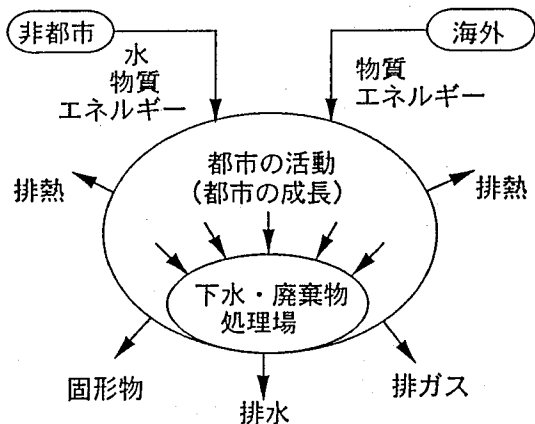


図-1 都市における物質・水・エネルギー代謝

ジェネレーションなど、質の高いエネルギーの供給が可能である。しかし、その立地が島状に孤立したものであるため供給対象地域はおのずと限られたも

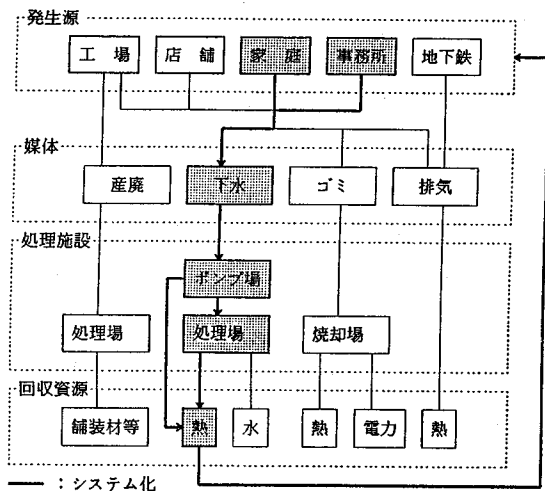


図-2 都市代謝構造のモデリング

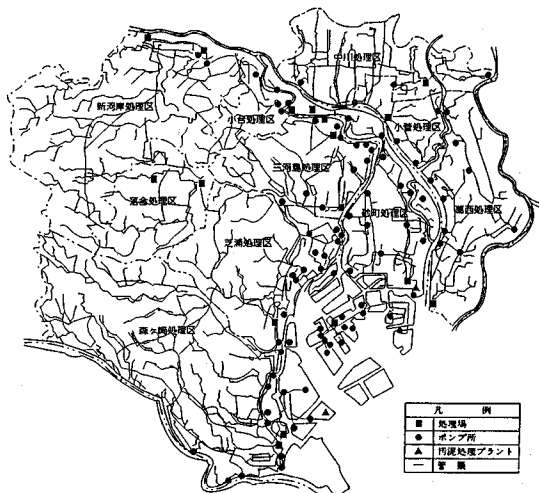


図-3 東京23区における下水道施設の分布図³⁾

のなる。一方東京23区には網の目のように下水道が普及しており³⁾ (図-3), 熱源としてはやや低温であるものの, 温熱回収・供給の対象となり得る地域は広域的に展開しているものと期待される。こうした温熱利用が成り立つためには, 熱需要と熱供給事業における排熱利用とが量的に整合している必要がある。このような地域を一定のルールに従って地図上で探す作業には, 地理情報システム (GIS) の利用が効果的であると考えられる。

よって本研究ではこのような未利用エネルギーのうち, 下水から得られる温熱エネルギーを都市内で有効に再利用するための地域熱供給施設の立地について, 熱需要と熱供給事業における排熱利用との空

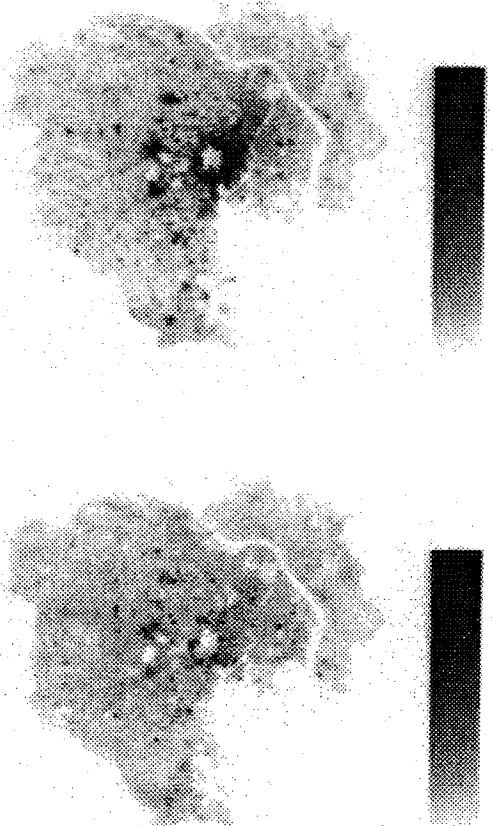


図-4 東京23区におけるエネルギー消費分布⁴⁾
上: 冬の14:00, 下: 冬の21:00.
凡例はフルスケールで400W/m².

間的整合性に対する解析を行うためのGISを開発した。また, それを用いた解析をもとに, 東京23区をフィールドとした配置案の検討を試みた。その際一ノ瀬ほか⁴⁾により推定されたエネルギー消費の時間的, 空間的な分布構造 (図-4) や, その推定に用いられた細密地理情報 (土地利用種や建築階数等の分布情報) をGISの基礎情報として用いた。さらに, 地域 (下水処理区) 毎のこうした熱の需給関係の特徴及び地理的影響要因についても考察を行い, GISの地域熱供給施設適地選定システムとしての利用可能性についても検討した。

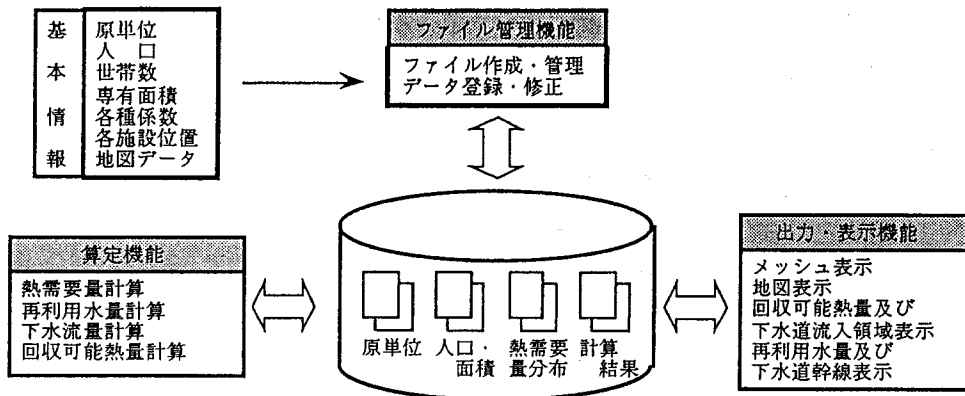


図-5 システム機能の概要

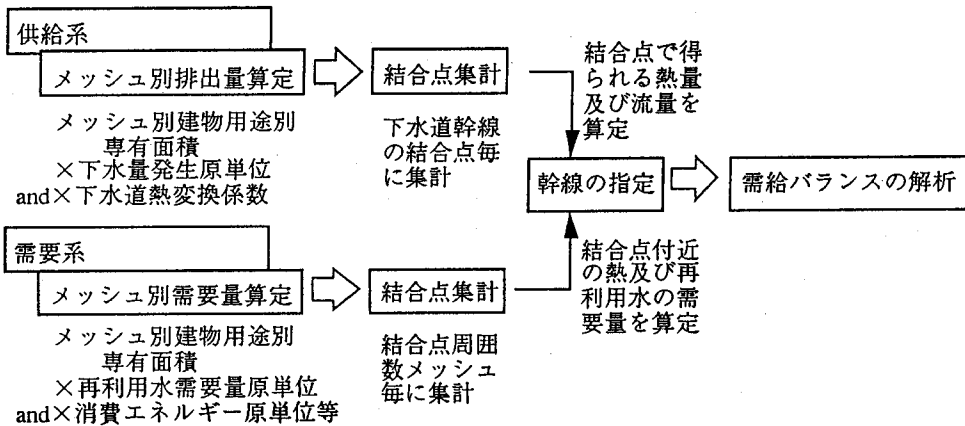


図-6 処理フロー

2. 下水道システム・シミュレーションモデルの概要

(1) GISとしての「下水道システム・シミュレーションモデル」

今回解析のために開発された「下水道システム・シミュレーションモデル」は土地利用種、建築階数に関するラスタデータや、下水道幹線座標のポリゴンデータを有し、各種算定機能やマップ表示機能を備えたものであり、GISとしての特徴を有している。また、東京都都市計画局³⁾から求められた250mメッシュ毎の建物用途別床面積、業種別単位床面積当たりエネルギー消費量⁴⁾に加え、建物用途別の熱負荷データ⁶⁾等を主な入力データとしている。

都市内未利用エネルギーの有効利用に当たっては、未利用熱と熱需要との時間的、空間的な整合性が確保されていなければならない。本シミュレーション

モデルは、250mメッシュ毎の熱需要量の計算、下水道幹線結合点メッシュにおける下水流量の計算、結合点及び周辺メッシュにおける下水熱回収可能量等の計算等を行うことができる。このモデルのシステム機能の概要と処理フローを図-5及び図-6に示す。

なお本シミュレーションモデルは、エンジニアリングワークステーションにおいて稼働する。以下に、本シミュレーションモデルを構成するサブシステムについて解説する。

(2) 下水流量算定サブシステム

東京都下水道局による東京23区下水道管路網図及びポンプ場や処理場の位置を示す基本図面を用い、下水道幹線管路の位置を250mメッシュで読みとり、幹線結合点の座標を与えて管路システムを表現した。また下水道流入メッシュ・領域の関連づけを行

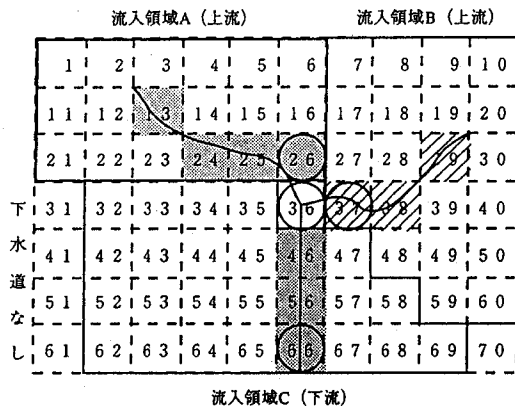


図-7 下水道流入領域メッシュ画面

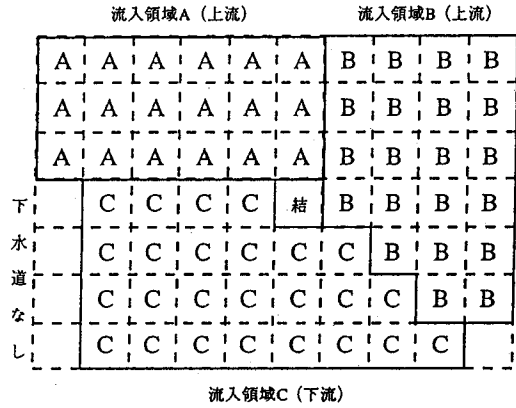


図-8 下水道流入領域分布メッシュ画面

った。さらに各幹線の流量を最終端のみで与え、幹線の結合点における流量は各最終端流量の合計として与えた(図-7)。手順は以下のとおりである。なお下水流量の基礎となる原単位としては、建物用途毎に単位床面積当たりの日平均下水発生量(年平均)を想定しているが、必要に応じ季節変化や日変化を入れることも可能である。

a) 下水道流入領域の決定

下図として画面出力に重ね合わせる東京都区部下水道全体計画図(東京都下水道局)を参照し、各下水道幹線の流入領域を確認しながら、幹線結合点メッシュ、幹線番号(流入領域番号)及び幹線の最終端メッシュを定める。具体的な操作としては、画面上のメッシュをマウスでクリックし、メッシュ番号をファイルに記憶させる。

(図-7の例)

結合点 = 36, 流入領域A最終端 = 26, 流入領域B最終端 = 37

b) 下水道流入領域分布ファイル及び流入領域別ファイル群の作成

下図の東京都区部下水道全体計画図, 流入領域番号及び幹線の最終端メッシュを確認しながら、各メッシュを流入領域に対応させる(図-8)。また、メッシュ数及び対象メッシュ番号等を流入領域別ファイル群に書き込む。

(図-7の例)

流入領域A = 1~6 + 11~16 + 21~26
 流量A = 流量26 = 1~6 + 11~16 + 21~26における発生流量

c) 幹線リンクファイルの作成

(図-7の例)

流量36 = メッシュ36における発生流量 + 流量26 + 流量37

(3) 下水熱算定サブシステム

各幹線結合点, ポンプ場及び処理場等下水流量の算定が可能なメッシュにおいて, 回収可能熱量は流量にいくつかの熱変換係数(例えば下水と大気との温度差)を乗じることで与えられる。

(4) エネルギー消費密度分布等表示サブシステム

メッシュ毎の専有面積(建物用途別の床面積等)に, 一ノ瀬ほか⁴⁾により求められた原単位を乗じることにより, エネルギー消費密度の分布を表示することができる。またこのサブシステムは, 回収可能熱量と温熱需要量とを地点毎に比較・表示する機能をも有している。

(5) 下水量発生原単位の作成及び下水流量の算定結果

建物用途別単位床面積当たりの下水量発生原単位を住居系10 (l/m²・日), 業務系20 (l/m²・日), 工業系50 (l/m²・日)と仮定し, これらをもとに下水道幹線上の結合点メッシュにおける流量の年平均値(1時間当たり)を求めた(註1)。いくつかの地点において東京都下水道局による推定値と比較した結果, 森ヶ崎, 芝浦, 砂町処理場の付近などでは推定値との大きな食い違いが生じているが, 推定値の計算値に対する比の値が0.5~2.0の間に全体の約81%が入り, 一次近似の値としては満足すべきものと考えられる。下水流量の推定精度を上げるためには

表-1 業種別年間負荷 (Mcal/m²・年)

環境局(1991)	冷房	暖房	給湯	業種
事務所	44	29	3	3 事務所
商業	120	30	2	2 専用商業
ホテル	106	150	20	20 宿泊遊興
病院	44	91	136	136 厚生医療
教育	15	46	5	5 教育文化
	113	49	2	2 住商併用(*)
	103	19	163	163 スポーツ興業
	7	32	48	48 専用独立住宅
	5	17	48	48 集合住宅

* : 商業 (50%) 部分

実際の流入領域及び幹線結合点の詳細な確認作業が必要であるが、ここでは比の値が1に近い落合、三河島、中川、小菅の4処理区をケーススタディーの対象として選定し、以下の検討を行った。

3. 東京23区における温熱需要分布

(1) エネルギー消費と温熱需要

東京23区におけるエネルギー消費については、業種別・用途別・季節別・時刻別の単位床面積当たり原単位が一ノ瀬ほか⁴⁾により求められているが、温熱需要については東京都での実測にもとづく通年平均の原単位⁶⁾が建物用途毎に与えられているのみ

(註2)である。エネルギー消費量から熱需要量への換算に当たっては暖房機器等のCOP(成績係数)を乗じることが必要である。よってここでは両者の通年平均値の比を仮想的なCOPと考え、これをエネルギー消費原単位に乘じることにより、業種別・用途別・季節別・時刻別の単位床面積当たりの温熱需要の原単位を作成した。なお以下で考える温熱需要は家庭部門及び業務部門のものに限定する。

東京都環境保全局⁶⁾における建物用途分類は、一ノ瀬ほか⁴⁾において業種分類と対応づけられている東京都都市計画局⁵⁾の土地利用種分類と一致していない。よって、通年平均の原単位(年間負荷)及び業種分類との新たに定めた対応関係を表-1に示す。また東京都環境保全局⁶⁾のみでは明らかでない部分もあるため、原単位の作成に当たっては大阪ガス(株)⁷⁾等の資料を補完的に用いた(註3)。住商併用建物については、エネルギー消費の場合⁴⁾同様床面積の半分にこの原単位を適用し、残りの半分之一は専用独立住宅の原単位を割り当てている。

本シミュレーションモデルにおいては、250mメッシュ毎の温熱需要量は次式によって求められる。

$$HH = 0.24 \times \sum \{ S_i \times (HEU_i \times HCOP_i + WEU_i \times WCOP_i) \} \quad (1)$$

HH (Kcal/hour) : 温熱需要量



図-9 東京23区における冬期昼間の温熱需要分布

0.24 (cal/J) : 変換係数

S_i (m²) : 業種 i の床面積

HEU_i (KJ/m²・hour) : 暖房のエネルギー消費原単位

$HCOP_i$: 暖房のCOP

WEU_i (KJ/m²・hour) : 給湯のエネルギー消費原単位

$WCOP_i$: 給湯のCOP

(2) 温熱需要のマッピング

東京都土地利用現況調査のデータを250mメッシュに集計し、建物用途別の床面積に原単位を乗じて積み上げることにより、東京23区における温熱需要(暖房及び給湯)のマッピングを行った。図-9はエネルギー消費密度分布等表示サブシステムの出力例(1989年における冬期の昼間の温熱需要分布・解像度は250m)である。温熱需要の大小に応じてメッシュが彩色(実際のシステムでは多色表示が可能)され、色の濃い地域ほど大きな値を示している。

冬期の昼間には業務機能の集積している都心において温熱需要が大きく、エネルギー消費の場合⁴⁾と同様、丸の内、新宿、渋谷、池袋の高密度地域を容易に見出し得る。一方夜間には、都心のピークはかなりスポット的なものとなる。また最大値としては新宿副都心の350Kcal/m²・hour(1,467KJ/m²・hour)(冬期の夜間)が得られた。昼間の銀座や丸

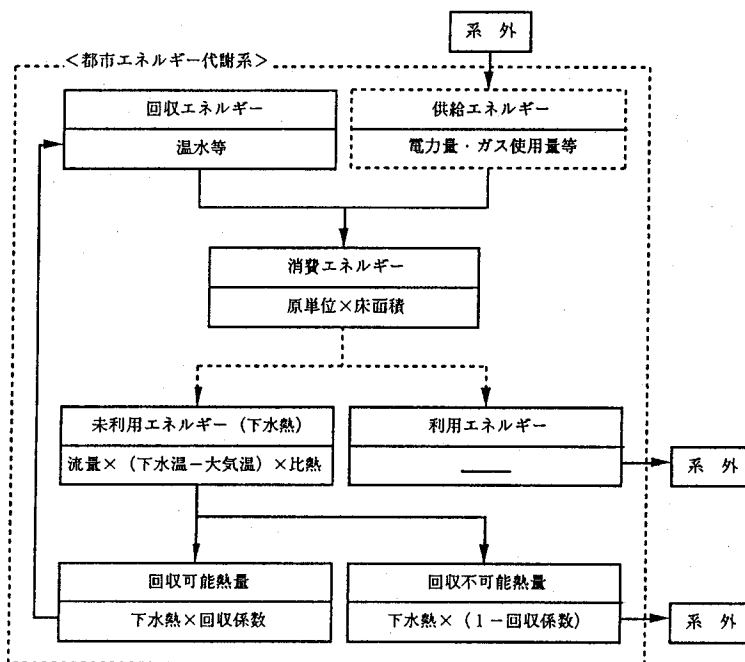


図-10 回収可能熱量算定方法

の内、新宿周辺には $80\text{Kcal/m}^2 \cdot \text{hour}$ ($335\text{KJ/m}^2 \cdot \text{hour}$)以上の領域が広がる。一方夜間では住宅地域のうち、やや需要の大きい地域が約 $15\text{Kcal/m}^2 \cdot \text{hour}$ ($63\text{KJ/m}^2 \cdot \text{hour}$)である。都心にも $15\text{Kcal/m}^2 \cdot \text{hour}$ ($63\text{KJ/m}^2 \cdot \text{hour}$)以下の地域が目立つ。

年平均ではやはり新宿副都心における $110\text{Kcal/m}^2 \cdot \text{hour}$ ($461\text{KJ/m}^2 \cdot \text{hour}$) (日平均)がピークとして得られる。

4. 下水からの回収可能熱量の算定

(1) 回収可能熱量の算定方法

本シミュレーションモデルにおいては、都市のエネルギー代謝を図-10のようにモデリングしている。下水の持つ回収可能な熱量は次式によって求められる。

$$SH=Q \times 5 \times 1,000 \quad (2)$$

SH (Kcal/hour) : 回収可能熱量

Q (t/hour) : 毎時流量 (ここでは年平均値)

5 (°C) : 実用的に回収が可能な下水水温と大気温との温度差 (年平均値として) (註4)

1,000 (Kcal/t・°C) : 比熱

本シミュレーションモデルでは、こうして求めら

れる回収可能熱量と前節で求められた温熱需要量とを属地的に比較することが可能である。なお属時的(註5)な比較を行うには更なるデータ整備が必要であり、とりわけ毎時のオーダーで比較を行う場合には、下水流量の非定常性などによる温熱供給量の時間的不安定性や下水の流下に伴うタイムラグなどを考慮しなくてはならない。

式(1)で定義される温熱需要量の精度は表-1の値の確からしさに依存する。また表-1の値はあくまで平均値であり、実際の人間活動の属地的な多様性(平均値からのずれ)にもとづく推定誤差については、ここでは言及し得ない。一方式(2)で定義される回収可能熱量の精度については、単位床面積当たりの下水量発生原単位及び実用的に回収が可能な下水水温と大気温との温度差をやや恣意的に定めているため、精度に多少の問題があるものと思われる。推定精度を上げるためには、毎時流量 Q に関して実際の流量データを用い下水量発生原単位をパラメタリゼーションする必要がある。また、実用的に回収が可能な下水水温と大気温との温度差は、ヒートポンプのCOPが下水水温や流量の影響を受けるため多少変化するものと思われる。よってこの推定方法に機械工学等の知見を取り入れる必要がある。

(2) 下水処理区主要地点での回収可能熱量算定結果

本シミュレーションモデルを用い、主要処理区(落

合処理区、三河島処理区、中川処理区、小菅処理区)における主要地点(下水道幹線結合点)での回収可能熱量の算定を行った。図-11において、下水道幹線情報のウィンドウ(1)は各主要地点(P0, P1, ...)の下水道ポイント情報及び下水道沿線情報を示したものである。建設コスト等経済性との関係から、熱源水配管距離は一般に500~1,000m以内が適当とされている⁸⁾。よってここでは下水道沿線情報として、1,250m四方の領域(下水道沿線情報取得領域、下水熱回収地点を含むメッシュを中心として5×5メッシュ)において集計された値等を示す。また温熱需要量算定/算定結果表示のウィンドウ(3)は、下水道ポイント情報の回収熱量と下水道沿線情報の温熱需要量とを主要地点毎にグラフ化したものである。図-12に落合処理区の最長幹線における算定結果(年平均)を例示する。

(3) 温熱利用からみた下水熱回収施設の配置案

以上にもとづいて、前述の1,250m四方を供給対象領域とし、トータルの利用可能熱量が最大となるような下水熱回収施設(ヒートポンプ)の配置案の検討を試みた(表-2)。この配置方法が最適であるという考え方には異論もあるものと思われるが、この種の最適性評価を行うには事例間で比較のための条件を統一する必要がある。また、ある地域全体における温熱需要量が一定であり、回収可能熱量が場所により異なるという条件の下では、限られた個数の下水熱回収施設を配置するに当たり、より多くの下水熱を回収し得る配置案が最善であることは自明であろう。よってここでは前述のルールに従って配置案の比較を行った。

まず幹線上の1ヶ所のみヒートポンプを設置する場合は、回収可能熱量と温熱需要量のうち小さい方が最大となる地点を選択すればよい。この方法では、落合、三河島の2処理区において利用可能な熱量は20Gcal/hour(84GJ/hour)以上に達する。また2ヶ所以上に設置する場合は、上流部での回収に伴う熱量の減少(註7)などを考慮する必要がある。さらに、計算を煩雑にしないため、供給対象領域が重複しないことなども制約条件に加えた。2ヶ所の場合も前述の2処理区において40Gcal/hour(168GJ/hour)以上の温熱利用が可能であり、ヒートポンプ1基当たりでも他の処理区に比べ利用可能熱量は多い。

一方、落合処理区には4ヶ所(60.1Gcal/hour(252GJ/hour))、三河島処理区には3ヶ所(46.4Gcal/hour(194GJ/hour))の設置が可能である。しかしそれぞれ最後の1ヶ所については、他の回収地点との間に利用可能熱量の競合関係が生じる

ため、これを設置してもトータルの利用可能熱量は変わらず、設置のコスト等を考えれば好ましくない。また、中川処理区では5ヶ所まで設置が可能であり、トータルで49.0Gcal/hour(205GJ/hour)の熱量を利用でき、これは処理場流入地点における回収可能熱量の70.3%に相当する。しかし、ヒートポンプ1基当たりの利用可能熱量は少ない。なお、これらの配置案は試行錯誤によって求められたが、このアルゴリズムについても検討の余地があるものと思われる。

処理区毎の需給関係の特徴及び地理的影響要因については以下のように考察される。利用可能熱量の多い落合、三河島処理区では幹線が長く、回収候補地点が多い。また温熱需要量の大きな地点が多いため、ヒートポンプ1基当たりの利用可能熱量も多い。一方、流量(回収可能熱量)が制約条件となるケースは少なかった。中川処理区の場合は幹線が主に住宅地を流下しており、沿線の温熱需要そのものは小さい。しかし幹線が長く回収候補地点も多いため、結果的に利用可能熱量は多くなっている。

5. まとめ

本研究においては、代表的な未利用エネルギーである下水から得られる温熱エネルギーを都市内で有効に再利用するための地域熱供給施設の立地について、熱需要と熱供給事業における排熱利用との空間的整合性に対する解析を行うためのGISを開発した。また、それを用いて東京23区の事例を対象に下水熱有効利用可能性の検討を試みたが、熱の需給関係や利用可能熱量の多寡が地域の土地利用に依存していることが確かめられた。本研究に示された手法は土地利用種等の細密地理情報が存在する都市にも適用が可能であり、地域熱供給施設適地選定システムとしてのGISの利用は大変有益であると思われる。さらに、実際の地域熱供給事業の可能性を議論する場合には、本研究では示し得なかったが、熱供給事業の実施に伴う環境負荷やコストの削減効果についても検討する必要がある。よって、こうした熱の需給関係のみならず、熱供給事業を実施した場合のエネルギー消費や二酸化炭素排出量、コストについてのライフサイクル的な評価が必要であり、このような作業に対してもGISが活用できるものと思われる。

謝辞:本研究を行うに当たり、データ解析を手伝って頂いた東京大学工学部学生の北村英也君(現・日本生命)に感謝します。土木学会・日本地理学会等を通じて温かい御助言を頂きました方々に感謝しま

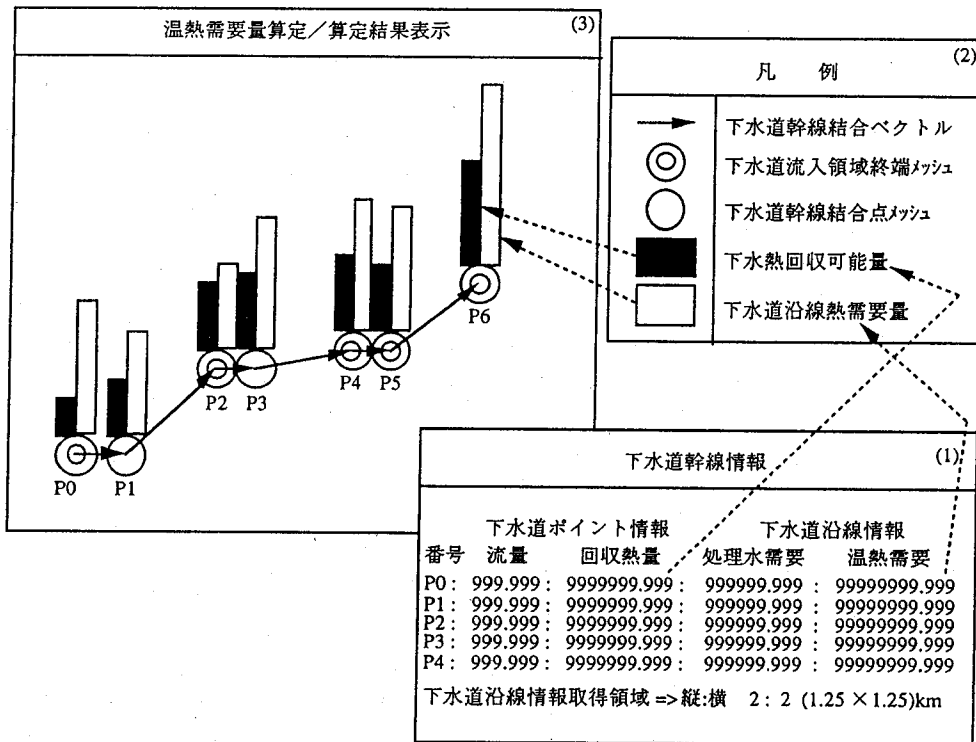


図-11 回収可能熱量算定結果表示例

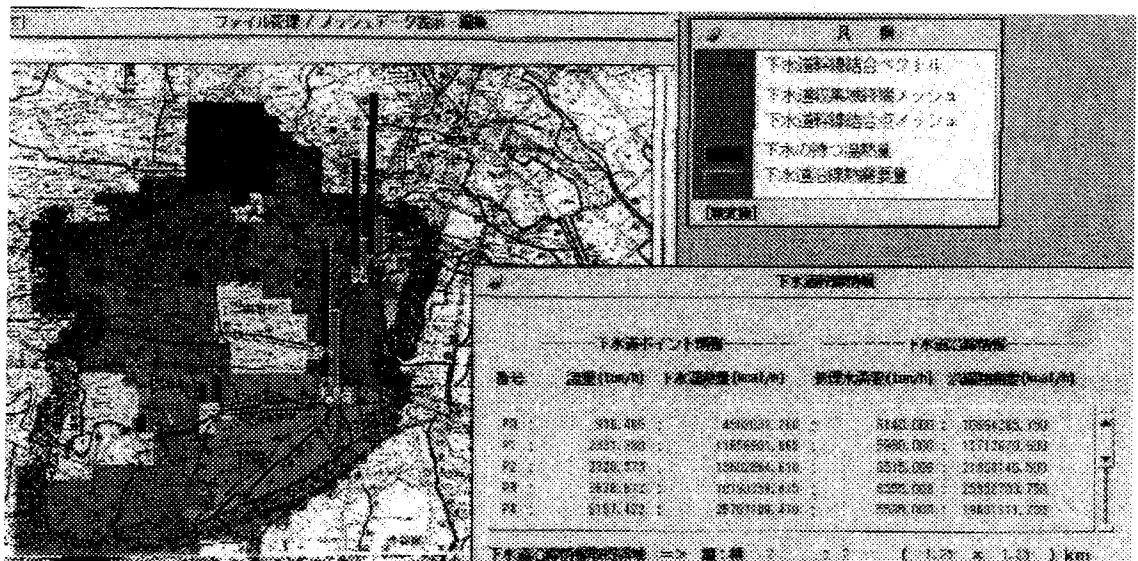


図-12 落合処理区における解析例

表-2 下水熱回収施設の配置案(註6) (利用可能熱量の比較:Gcal/hour)

落合処理区	回収可能熱量	温熱需要量	1ヶ所の場合	2ヶ所の場合	3ヶ所の場合	4ヶ所の場合	5ヶ所の場合
P0	4.6	10.7					
P1	11.7	11.7				11.7	
P2	13.6	21.9					
P3	18.2	26.0			18.2	6.5	
P4	25.8	19.6					
P5	42.2	19.3					
P6	59.6	20.1		20.1	20.1	20.1	
P7	67.4	17.3					
P8	97.2	21.8	21.8	21.8	21.8	21.8	
総利用可能量			21.8	41.9	60.1	60.1	
利用率 (%)			22.4	43.1	61.8	61.8	
1基当たり			21.8	21.0	20.0	15.0	

三河島処理区	回収可能熱量	温熱需要量	1ヶ所の場合	2ヶ所の場合	3ヶ所の場合	4ヶ所の場合	5ヶ所の場合
P0	7.0	30.3					
P1	14.9	34.0			14.9		
P2	19.6	31.9					
P3	29.1	30.9	29.1	29.1	14.2		
P4	36.5	23.7					
P5	158.0	17.3		17.3	17.3		
総利用可能量			29.1	46.4	46.4		
利用率 (%)			18.4	29.4	29.4		
1基当たり			29.1	23.2	15.5		

中川処理区	回収可能熱量	温熱需要量	1ヶ所の場合	2ヶ所の場合	3ヶ所の場合	4ヶ所の場合	5ヶ所の場合
P0	2.5	4.5					2.5
P1	5.1	7.7					
P2	7.0	8.2					
P3	7.8	10.8					
P4	13.4	12.2					
P5	20.0	14.1	14.1	14.1	14.1	14.1	14.1
P6	30.9	12.9					
P7	35.1	11.6		11.6	11.6	11.6	11.6
P8	41.4	11.1					
P9	42.9	11.3					
P10	45.6	11.5			11.5	11.5	11.5
P11	47.1	9.3					
P12	50.3	9.3				9.3	9.3
P13	60.1	8.0					
P14	69.7	8.7					
総利用可能量			14.1	25.7	37.2	46.5	49.0
利用率 (%)			20.2	36.9	53.4	66.7	70.3
1基当たり			14.1	12.9	12.4	11.6	9.8

小菅処理区	回収可能熱量	温熱需要量	1ヶ所の場合	2ヶ所の場合	3ヶ所の場合	4ヶ所の場合	5ヶ所の場合
P0	4.2	19.8					
P1	10.4	15.8		10.4			
P2	12.6	11.9	11.9				
P3	13.1	7.9					
P4	48.1	8.1		8.1			
総利用可能量			11.9	18.5			
利用率 (%)			24.7	38.5			
1基当たり			11.9	9.3			

す。東京都都市計画局並びに下水道局のスタッフには東京都土地利用現況調査のポイントサンプリングデータを利用して頂いた。富士通エフ・アイ・ピー株式会社のスタッフには、GISの開発に際し御協力を頂いた。

本研究を行うに当たり、平成5年度文部省科学研究費補助金重点領域研究人間地球系「都市代謝システムの最適化シミュレーション」(代表・一ノ瀬俊明)等の一部を利用して頂いた。

付録(註)

1) それぞれの建物用途は以下のように分類される。

【住居系】：専用独立住宅，集合住宅，農林漁業施設

【業務系】：官公庁施設，教育文化施設，厚生医療施設，供給処理施設，事務所建築物，専用商業施設等，宿泊・遊興施設，スポーツ・興業施設，倉庫・運輸関係施設(床面積の半分)

【工業系】：専用工場・作業所

また以下の建物用途については2つの系が混在しており，床面積の半分ずつを割り当てている。

住商併用建物，住居併用工場・作業場

2) 具体的な熱量としては通年平均の値のみであるが，月別・時刻別のシェア(%)を示すデータも収録されており，実際一ノ瀬ほか⁴⁾はこれにもとづいてエネルギー消費原単位の季節変化や日変化を定めている。

3) 東京都環境保全局⁶⁾では温熱負荷を暖房と給湯に分割していないケースが多いため，その分割に当たっては以下の資料を用いた。括弧にて建物用途に対応する業種を併記する。

【商業(専用商業施設等)】：大阪ガス(株)⁷⁾に収録された「分散型電源システムの最適化に関する調査」(総合研究開発機構，1985)におけるデパートの暖房：給湯。

【病院(厚生医療施設)】：大阪ガス(株)⁷⁾に収録された「簡易年間負荷計算プログラム」(日本コージェネレーション研究会)の出力における暖房：給湯(給湯負荷には蒸気負荷を含む)。

【教育(教育文化施設)】：事務所における暖房：給湯に同じ。

また東京都環境保全局⁶⁾には事務所について規模別に4種類の値が示されており，本研究では中規模(総床面積10,000~30,000m²)の場合の値を選択している。

このほか他の業種については次のような方法によ

った。

【スポーツ・興業施設】：冷房・暖房・給湯のそれぞれについて，大阪ガス(株)⁷⁾に収録されたもののうち，「簡易年間負荷計算プログラム」(日本コージェネレーション研究会)の出力におけるスポーツ施設及び「天然ガス有効利用システム開発調査報告書」(社)日本ガス協会，1988)における映画館，劇場の値を単純平均。

【集合住宅】：冷房は大阪ガス(株)⁷⁾に収録されたもののうち，東京ガス(株)が総合研究開発機構(1985，前述の文献)をもとに算出した値。暖房は大阪ガス(株)⁷⁾に収録されたもののうち，(財)住宅・建設省エネルギー機構による値。給湯は東京都環境保全局⁶⁾による集合住宅における暖房：給湯(1戸当たり原単位)の比を利用して求めた値。

一方，住商併用建物(商業部分：50%)及び専用独立住宅については直接に年間負荷を与えている資料が存在しない。しかし一ノ瀬ほか⁴⁾によって業種毎に通年の単位床面積当たりエネルギー消費原単位が求められており，熱負荷のエネルギー消費量に対する比の値はいわばCOPに相当するものである。よって住商併用建物については基本的に専用商業施設等と同じCOPが適用できるものと考え，エネルギー消費原単位にこのCOPを乗じることで仮想的に得られる値を年間負荷として用いた。また専用独立住宅については，東京都熱負荷算定基準⁹⁾に示された冷房及び暖房の単位負荷における(独立)住宅：共同住宅の比⁴⁾を用い，集合住宅の値より推定した。

4) 東京の場合，処理場への流入下水水温と大気温との差は冬期で10℃前後である¹⁰⁾。

5) 本章に示したのは年平均(日平均)のケーススタディーであり，冬期の場合は温度差(回収可能熱量)，温熱需要量ともに増大する。温熱需要における冬期日平均値の年平均値に対する比の値は2.1~2.5であった。下水水温と大気温との差の季節変化(冬期は中間期の2倍程度)に鑑みて，本研究に示された回収可能熱量と温熱需要量との量的な関係(比)は冬期においてもほぼ同様であるものと考えられる。

6) 各下水道幹線結合点には，幹線に沿って上流よりP0，P1，...という記号を付した。回収可能熱量は各結合点において式(2)で定義される値であり，温熱需要量は各結合点の存在するメッシュを中心とした1,250m四方の領域を対象として，式(1)で定義される値である。この表では下水熱回収施設を1ヶ所~5ヶ所設置するというそれぞれのシナリオに対し，回収可能熱量と温熱需要量の関係より選定された設置箇所及びそこにおける利用可能熱量の値を

示す。

また利用率は、終末処理場（落合処理区ではP8）における回収可能熱量に対する総利用可能量の割合である。併せてヒートポンプ1基当たりの利用可能熱量を示した。

7) 実際下水道幹線上で熱回収を行った場合、流量がそのままであるのに対し下水水温が下がり、下流においては新たな熱の流入があるものの、次第に熱回収が困難となるように思われる。よって流速を落とし、ヒートポンプにおける下水の接触時間を確保するなどの対応が必要である。

引用文献

- 1) 松尾友矩：生活系都市代謝システムの未来，日本生気象学会雑誌，Vol.29，pp.153-153，1992.
- 2) Wolman, A. : The metabolism of cities, *Scientific American*, 186, 1952.

- 3) 東京都下水道局計画部総合計画課：「第二世代下水道マスタープラン」，102p，1992.
- 4) 一ノ瀬俊明，花木啓祐，松尾友矩：細密地理情報にもとづく都市人工排熱の時空間分布の構造解析，環境工学研究論文集，Vol.31，pp.263-273，1994.
- 5) 東京都都市計画局：「東京都土地利用現況調査事業要綱・要領」，1986.
- 6) 東京都環境保全局：「地域暖冷房推進に関する指導要綱」，240p，1991.
- 7) 大阪ガス（株）：「建物負荷データ集」，354p，1991.
- 8) 建設省下水道部：「下水熱利用検討調査」，1992.
- 9) 空気調和・衛生工学会：「空気調和・衛生工学便覧」，1991.
- 10) 東京都下水道局：私信，1994.

(1996. 1. 8受付)

DEVELOPMENT OF GIS FOR FEASIBILITY STUDY ON EFFECTIVE USE OF SEWAGE HEAT

Toshiaki ICHINOSE, Hiromitsu KAWAHARA, Keisuke HANAKI
and Tomonori MATSUO

About the location of the district heating systems for effective use of sewage heat in urban area, Geographic Information Systems as its analyzing tool was developed and the optimized location was discussed in Tokyo based on the analyses of spatial conformity between heat demand and waste heat supply with this GIS. The characteristics of the relationships between demand and supply in each sewage treatment district and geographical influences were also discussed. Large amount of usable heat is shown in sewage treatment districts with long sewer lines, many occasions of heat collection and large amount of heat demand.