東京都・北京市・ソウル市の地域冷暖房事業に関する比較研究

A COMPARISON STUDY ON DISTRICT HEATING AND COOLING
IN TOKYO, BEIJING, AND SEOUL李 花*, 川瀬 貴晴**
Hua LI and Takaharu KAWASE

This paper presents the study of DHC (district heating and cooling) business in 3 northeast Asian cities-Tokyo, Beijing and Seoul, in which, projects like initial background, annual fluctuation, current status and heat rate system were investigated. The difference and the feature of DHC use in the city in a country different through the comparison of three cities are analyzed. As a result, this paper may propose a material for DHC business progressing and a new way about the environmental policy in the future. During the period of 2006, DHC annual sales showed big differences in 3 cities. It can be seen that sales for houses and Commercial buildings were also different. The differences of the heat rate unit price by the heat service area of the DHC were large in Tokyo, while small in Beijing and Seoul. Additionally, by use of the building thermal model and comparing individual heat source system, the difference between DHC heat rates in 3 cities is confirmed.

Keywords : District Heating and Cooling, Northeast Asian region, current status, Heat rate simulation

地域冷暖房事業, 北東アジア都市, 事業現状, 熱料金シミュレーション

1. はじめに

地域冷暖房とは、1箇所または数箇所のプラントから複数の建物に配管を通して冷水・温水（蒸気）を送って冷房・暖房・給湯を行うシステムのことで、比較的高密度に建物が建つ地域につくられる。世界で最初の地域暖房システムは、1875年ドイツのハンブルクで誕生したと言われており¹⁾、ヨーロッパでの普及率は今も高い²⁾。地域冷暖房は個別冷暖房を集約化したもので、規模のメリットがあるほかにもゴミ焼却エネルギー、地熱エネルギー、河川エネルギー、バイオマスエネルギー等未利用エネルギー活用の面でも有利である。反面、初期費用が高く費用の回収年数も長いために、公共事業並みの優遇政策などのバックアップが重要であるが、地域冷暖房の費用対効果についての評価は国や地域によって異なる。

北東アジア地域では、東京都は1971年、北京市は1958年、ソウル市は1985年に地域冷暖房事業が開始され、2006年時点で東京都が建築延床面積全体の4.8%^{注1)}、北京市が建築延床面積全体の64.4%^{注2)}、ソウル市が家屋戸数全体の15.6%^{注3)}の建物で地域冷暖房が利用されている。隣国の都市でありながら、事業の開始時期と普及度には大きな差があるとも言える。このような傾向は3都市の所在国の状況が違いため当然のこととも言えるが、エネルギーの海外依存度が高い東京都とソウル市、経済高度成長によるエネルギー不足が懸念される北京市において、エネルギー総合利用とグリーンエネルギー利

用に有利な地域冷暖房の活用は大きな課題であり、今後の適切な展開を図る上で、各国の地域冷暖房事業の状況を比較して検討することは大きな意義がある。また、それらの地域冷暖房を所在国が異なる隣国の地域冷暖房と横並びにした比較研究を通じて、各国のそれまでの環境政策と事業モデル範囲での検討では容易に発見できない示唆を引き出し、より大きな枠組みで考え直すきっかけとなりうる要素を探ることができるのではないかと考える。

既往の研究をみると、東京都は熱需要特性による地区分類研究³⁾、地域冷暖房の熱供給ネットワーク化研究⁴⁾などが、北京市は熱供給面積による定額制熱料金制から熱使用量による従量制熱料金制へ転換関連の研究⁵⁾、それに伴う熱計量器の研究が、ソウル市は外気温度変動による地域暖房の暖房負荷変動特性分析⁶⁾、活用可能な未利用エネルギーと冷暖房負荷の関連性研究⁷⁾など異なる研究傾向を持ちながら3都市とも幅広い研究がされている。なお、それぞれ本国や本拠地を研究対象にしている、他国や他地点の地域冷暖房は事例として紹介されることにとどまり、横並びにした研究はほとんどない。

本研究では、北東アジア地域にある東京都、北京市、ソウル市を対象に地域冷暖房事業の開始背景と最近10年間の変動、事業の現状、熱料金体系等の項目について調査を行い、3都市の比較を通じて異なる国の都市での地域冷暖房利用の違いや特徴を分析し、それにより今後の地域冷暖房事業の展開や環境政策のあり方を考えるための資料

* 千葉大学大学院工学研究科 博士後期課程
** 千葉大学 教授・工博

Graduate Student, Chiba University
Prof., Chiba University, Dr. Eng.

を提供することを目的にしている。

2. 研究対象および研究方法

2.1 研究対象の概要

表1に3都市の概要を示す。3都市の土地面積には桁違いの差があるが、人口はそれほどの差がなく、どれも1千万人以上の人々が暮らしている巨大都市である。緯度からみると東京都が一番南に位置し、北京市は日本の盛岡、ソウル市は福島とほぼ同じ緯度に位置している。

図1は3都市の2006年の月平均気温と月平均湿度によるクリモグラフである。夏季の温湿度差はあまりないが、冬季の1月平均気温は東京都がソウル市より5.3℃、北京市より7℃も高い。北京市とソウル市は冬の寒さが厳しく、暖房対策は日常生活で欠かせない重要な事項である。

2.2 研究方法

東京都、北京市、ソウル市における地域冷暖房事業について以下の4つの項目を調査し、比較分析を行なう。

- ①最初の地域冷暖房事例の開始時期、開始された背景、熱供給能力
- ②最近10年間の地域冷暖房事業の年間熱販売量の状況
- ③地域冷暖房事業の現状(2006年度)
- ④地域冷暖房の熱料金体系と、モデル(住宅、事務所)建物を使用した熱料金シミュレーション

調査は文献収集、地域冷暖房プラント訪問調査、電話によるインタビュー等の手法で行なう。

3. 最初の地域冷暖房事例比較

3都市の地域冷暖房は、それぞれ異なる時期にその時代の社会背景のもとに登場している。表2に各都市最初の地域冷暖房事業を示す。

東京都は、大気汚染が社会的に問題になりはじめた1955年に「ばい煙防止条例」を制定したが、その後も暖房用ボイラからの黒煙と亜硫酸ガスを対象に、ばい煙発生源を集中して、汚染物質の共同処理をはかることを主旨にする対策案が検討された。1971年に「都民を公害から防衛する計画」を発表し、事業所集中地区、新開発、再開発地区に地域冷暖房を推進することにした。そして、1971年4月に新宿新都心地区で地域冷暖房が導入され、東京都庁舎、京王プラザホテル、新宿パークタワー等15棟の建物に熱供給を予定し、京王プラザホテルのオープンに合わせて熱供給を開始した。¹²⁾¹³⁾

北京市は、3都市のなかでは一番早い1956年にドイツの協力で、初の地域暖房システムである北京電子動力会社熱電所を建設し、1958年に北京第一熱電所より、光華染織工場を含む9つの工場と合成繊維工場宿舍の2.75万㎡で、熱供給を開始した¹⁴⁾。当時は政府による計画経済制度のもとに、市民の住環境改善の対策として導入された。住宅用の暖房は政府の福祉事業として無償で行なわれ住民の負担はなく、当然熱計量も行なわれてなかった。

ソウル市は、1985年モクトン地区でニュータウン開発が行なわれ、開発区域内の集合住宅暖房方式に、当時北欧で開発・普及が進んでいた熱電併給発電を利用した地域暖房方式が導入され、11月にSH公社(旧ソウル市集団エネルギー)が、モクトン地区の1団地への熱供給を開始した。全体の工事は1987年に終了し住居用、営業用、および公共用建物に熱供給を行う同時に、同地区所要電力量の1/7

表1 研究対象の概要(2006年)⁸⁾⁹⁾¹⁰⁾¹¹⁾

項目	東京都	北京市	ソウル市
地理位置	北緯 35 度 東経 139 度	北緯 39.9 度 東経 116.3 度	北緯 37 度 東経 127 度
土地面積	2,187k ㎡	16,410k ㎡	605k ㎡
人口	1,234 万人	1,581 万人	1,034 万人
世帯数	593 万	464 万	398 万
年平均気温	16.4℃	13.4℃	13.0℃

図1 3都市クリモグラフ(2006年)⁸⁾⁹⁾¹⁰⁾¹¹⁾

表2 最初の地域冷暖房事例

都市名	開始時期	区域名 (事業者名)	配管延長	熱源設備能力
東京都	1971 年	新宿新都心地区 (東京瓦斯(株))	3.0km	冷房: 42GJ/h 暖房: 80GJ/h
北京市	1958 年	光華染織地区 (北京第一熱電所)	13.4km	暖房: 2016GJ/h
ソウル市	1985 年	モクトン地区 (SH公社)	20.0km	暖房: 2482GJ/h

熱源設備能力: 1cal=4.2J, 蒸気 1T=2.68GJ, 1RT=3320kcal/h で換算

に当る電力供給(発電20,000kw)も行った¹⁵⁾¹⁶⁾。この事例が、韓国地域冷暖房協会が承認するソウル(又は韓国)初の地域暖房事例であり、韓国では電気と熱を併給する大規模システムを地域冷暖房と称することが一般的である。ただし、ボイラー専用の地域暖房事例は60年代からある。例をあげると、1970年竣工の漢江地区の大韓住宅公社アパート群5階建23棟、延床面積8万㎡を対象として中温水(115℃/85℃)を使用した熱出力212Gcal/hの事例である¹⁶⁾。ここでは、建物と地域暖房の建設・管理が同じ建設会社によって行われていた。

4. 最近10年間の地域冷暖房事業の状況比較

3都市の地域冷暖房事業の近年の成長を考察するために、最近10年間の年間熱販売量を調査し、比較を行った。ここで、東京都は日本熱供給事業協会「熱供給事業便覧」(平成11年版～平成20年版)の数値を、北京市は中国国家統計局「中国統計年鑑」(1999～2008)の数値を、ソウル市は熱供給会社から直接提供された数値を用いた。

図2に都市別の1998～2007年の地域冷暖房年間熱販売量の経年変化を、図3に1998年を基準にした地域冷暖房年間熱販売量の増加率を示す。

グラフより、年間熱販売量は北京市は東京都の最大 12.2 倍とソウル市の最大 8.3 倍、ソウル市は東京都の最大 1.6 倍であることがわかる。また、1998 年を基準にした年間熱販売量の増加率は、北京市が最大 63%、ソウル市が最大 55%に対して、東京都はその半分の最大 27%にとどまることがわかる。また、ここで、3 都市の 2005 年度の年間熱販売量が最も多くなっているが、その要因は経済活動の変化や地域冷暖房熱供給対象の変化による影響ではなく、気候の変化による影響であると考えられる。

5. 地域冷暖房事業の現状比較

3 都市の地域冷暖房事業の現状を考察するために、2006 年度を対象として地域冷暖房の年間熱販売量、事業者の状況、エネルギー使用効率を比較する。

1) 年間熱販売量比較

図 4 に各都市 2006 年度の地域冷暖房年間熱販売量を示す。全体の年間熱販売量は東京都が 1298 万 GJ、北京市が 15808 万 GJ、ソウル市が 1903 万 GJ であり、北京市がほかの都市より圧倒的に多い。住宅向けが全体に占める割合は東京都が 3%、北京市が 66%、ソウル市が 92% で、まったく異なる熱供給対象となっていて、東京都とソウル市は正反対となっている。また、年間熱販売量の内、冷熱販売量の割合は東京都が約 64%、北京市はほぼ 0%、ソウル市が約 1% であり、事務所向けが主体の東京都と他の 2 都市では、明確な差がある。東京都は 66 カ所の地域冷暖房区域の内、64 カ所で冷熱販売があるに対して、ソウル市は地域冷暖房の対象である 524 棟の事務所ビルの内、59 棟に冷熱販売がある。住宅向けは、3 都市とも温熱が主で冷熱販売は一部の高級タワービルに限る。

2) 事業者の比較

表 3 に 3 都市の地域冷暖房事業者の概要を示す。年間熱販売量は、北京市がほかの都市より 10 倍程度多いが、事業者の数はそれを上回る数千倍もある。それとは対照的に、ソウル市はわずか 2 社の事業社がソウル市全体の地域冷暖房事業を担っている。1 区域当たりの平均年間熱販売量を計算すると、東京都が 20GJ、北京市が 3GJ、ソウル市が 380GJ で区域当たりの規模はソウル市が大きい。

3) エネルギー使用効率の比較

地域冷暖房システムには、熱源設備、熱配管、受熱側機器等があり、設備の種類と使用年数、配管距離、システム運転方式等によってエネルギー使用効率には差がある。地域冷暖房システムのエネルギー使用効率の評価は多数の要因を考慮する必要がある複雑な問題であり、また対象とするシステムの数も多いため正確な効率を求めるのは難しく、本研究とは別に研究すべきテーマと考えているが、簡単な方法で 3 都市の概略のエネルギー使用効率を考察するのは可能である。ここでは、地域冷暖房システムにおいて、熱量と電気量の 2 要因のみを考慮し、エネルギー使用効率を計算する。計算のなかで、東京都は電力の一次エネルギー換算値として $1\text{kwh}=9.76\text{MJ}$ (全日) を、都市ガスは「熱供給事業便覧」の換算値 $1\text{Nm}^3=41.1\text{MJ}$ を利用し、ソウル市は韓国エネルギー管理公団統計の一次エネルギー計算数値を直接利用し、北京市は北京市供熱協会「北京供給」の資料を用いた。また、CGS 排熱利用時は受入れた熱量をそのまま燃料消費量として扱っている。

計算式は式 1 のとおりである。

$$\eta = (q_1 + q_2) \div (Q_1 + Q_2) \quad \text{式 1}$$

η : エネルギー使用効率

q_1 : 年間熱販売量 (2006 年度)

q_2 : 年間電気販売量 (2006 年度)

Q_1 : 年間燃料消費量 (2006 年度)

Q_2 : 年間電気消費量 (2006 年度)

図 2 最近 10 年間の地域冷暖房の年間熱販売量状況 ⁽¹⁷⁾⁽¹⁸⁾

図 3 1998 年の地域冷暖房年間熱販売量に対する比較

図 4 年間熱販売量比較 (2006 年度)

表 3 地域冷暖房事業者比較 (2006 年) ⁽¹⁹⁾⁽²⁰⁾⁽²¹⁾

都市名	会社数	熱供給区域数	熱源設備能力 (GJ/h)	最大熱供給区域 (事業者名)	最大熱供給区域熱源設備能力
東京都	36	66	冷房:7059 暖房:7309	新宿新都心地区 (エネルギーアドバンス)	冷房: 747 GJ/h 暖房: 621 GJ/h
北京市	3894	5346	暖房:30546	華能北京熱電所地区 (北京市熱力集団)	暖房:4872 GJ/h
ソウル市	2	5	冷房:655 暖房:9933	Gangnam 地区 (韓国地域暖房公社)	暖房:3011 GJ/h

熱源設備能力: $1\text{cal}=4.2\text{J}$ で換算

図5にエネルギー使用効率の計算結果を示す。

東京都は、66カ所の地域冷暖房システムのエネルギー使用効率は、0.6から0.9のシステムが多く、一番高いものは1.23にも達している。熱源設備の燃料は電気とガスが主で、ほかに少量の排熱利用がある。

ソウル市は、5カ所の地域冷暖房システムすべてに熱電併給システムが活用されている。エネルギー使用効率は、0.8以上が4カ所と0.31が1カ所である。燃料消費量全体の36%が電力公社からの排熱利用で、そのほかにLNG、LSWR油（低硫黄重油）、LFG（Land Fill Gas）等がある。

北京市は、大型熱電併給システム5カ所と大型ガス燃焼熱供給システム3カ所による熱供給が全体の1/4を占め、それ以外は数千もあるボイラー専用の小型システムによる熱供給である。各事業者の生産情報の公開はほとんどなく、北京市供熱協会の論説によると、石炭燃焼システムの平均稼動効率は55-60%で、先進国より20-25%低く、ガス燃焼システムの平均稼動効率は80%で、先進国より10-15%低いという²⁰⁾。

6. 地域冷暖房の熱料金体系比較

地域冷暖房システムの初期費用と運転費用は熱料金に反映され、最終的に熱使用者側が負担する。熱料金体系を如何に合理的に設定するかは地域冷暖房事業の成否にかかわるもっとも重要な要因の一つである。地域冷暖房熱料金体系には、主に「従量制料金体系」と「定額制料金体系」があり、東京都とソウル市は基本料金と従量料金による2部制の「従量制料金体系」を、北京市は熱供給床面積による「定額制料金体系」を採用している。3都市における地域冷暖房の熱料金体系を比較するために、本研究では以下の2項目の比較を行なう。

①地域冷暖房の熱料金単価比較

②モデル（住宅、事務所）建物を使用した地域冷暖房熱料金比較

ただし、3都市の貨幣価値と生活水準の差を考慮するため、地域冷暖房熱料金を平均世帯月消費支出（住宅の場合）と不動産月賃貸料（事務所の場合）に対する比率の対比でも比較を行なう。

6.1 地域冷暖房の熱料金単価比較

東京都は、「熱供給事業法」第十四条により熱供給事業者は、熱供給の料金その他の供給条件について供給規程を定め、通商産業大臣の認可を受けなければならない。

東京都の地域冷暖房の熱料金単価は、全体的に複雑で各熱供給区域による格差が大きい。同じ事業者による地域冷暖房であっても、熱供給区域によって差があり、これはほかの2都市にはない特徴である。図6、図7に東京都の地域冷暖房熱供給区域の2006年度熱料金単価を示す。事務所用熱料金単価の場合、区域により基本料金で最大12倍、従量料金で最大7倍の差が生じている。

北京市は、建設部の「都市供熱価格管理暫定法案」と市政府の価格主管部門により毎年北京市全体で適用する地域暖房の熱料金単価が決まる。

地域冷暖房事業者は熱料金単価の決定権はなく、市政府が定める熱料金単価に従う。なお、熱生産コストの一部を市政府が補助しており、燃料の価格変動によるコスト変動は実質的に市政府が負担することになるため、事業者の負担は小さく、熱料金単価が10年以上も変わっていない。表4に北京市の2006年度熱料金単価を示す。

なお、定額制料金体系がエネルギー使用効率の向上や省エネルギー

図5 エネルギー使用効率 (2006年度)¹⁷⁾²¹⁾

図6 東京都事務所用地域冷暖房熱料金単価¹⁷⁾

図7 東京都住宅用地域冷暖房熱料金単価¹⁷⁾

志向に不利であることが議論を呼び²²⁾、2008年には「市熱力集団」により市全体の3%未満に当たる区域で「従量制料金体系」を試行し、熱料金単価（表5）も特別に設定している。これには熱料金体系を段階的に定額制から従量制へと転換させようとするねらいがある。

ソウル市は、「集団エネルギー事業法」第17条により、熱供給事業者は熱料金上限審議委員会の審議を受け、産業資源部長官に届け出し、認可を受ける。

燃料価格の変動による熱料金単価の変動はあるものの、各熱供給区域による熱料金単価の差は小さく、東京都のような数倍ないし十数倍になることはない。さらに同じ事業者による熱供給区域であれば、熱料金単価はまったく同じである。表6、表7にソウル市の地域冷暖房熱供給区域の2006年度熱料金単価を示す。

6.2 モデル住宅を使用した地域暖房の熱料金比較

3都市の平均世帯の生活状況をもとにモデル住宅を設定し、1暖房期の暖房用熱消費量について都市別に地域暖房熱料金を計算して比較を行ない、さらにモデル住宅がルームエアコンを使用した場合の暖房用料金を計算して地域暖房熱料金と比較を行なう。図8に比較のながれを示す。

1) 都市別の平均世帯生活状況概要およびモデル住宅設定

モデル化の考え方はいろいろあるが、ここでは都市別に平均世帯の

表 4 北京市地域暖房熱料金単価（元 / 熱供給面積（㎡）・年）²³⁾

熱源方式	住宅	非住宅
市熱力集団	24	30
石炭燃焼ボイラ(直接方式)	16.5	23.5
石炭燃焼ボイラ(間接方式)	19	26
燃油ボイラ	30	35

表 5 北京市 2008 年試行の地域暖房熱料金単価²⁴⁾

基本料金	従量料金
18 元/熱供給面積・年	0.16 元/kwh(44.45 元/GJ)

表 6 ソウル市地域暖房熱料金単価（基本料金）（ウォン）²⁵⁾

区域名	事業者名	住宅用	事務所用	公共用
NamSeoul	韓国地域暖房公社	49.02/㎡	371.18/Mcal/h	338.62/Mcal/h
Gangnam		49.02/㎡	371.18/Mcal/h	338.62/Mcal/h
Sangam		49.02/㎡	371.18/Mcal/h	338.62/Mcal/h
Gangseo	S H公社	45.54/㎡	344.85/Mcal/h	314.60/Mcal/h
Nowon		45.54/㎡	344.85/Mcal/h	314.60/Mcal/h

表 7 ソウル市地域暖房熱料金単価（従量料金）（ウォン/Mcal）²⁵⁾

区域名	事業者名	住宅用	事務所用	公共用
NamSeoul	韓国地域暖房公社	53.11	74.51	65.06
Gangnam		53.11	74.51	65.06
Sangam		53.11	74.51	65.06
Gangseo	S H公社	73.76	110.46	96.08
Nowon		73.76	110.46	96.08

生活状況を調査し（表 8）、それをもとに各都市で同一規模のモデル住宅を設定する（図 9）。モデルの延床面積には 3 都市の平均世帯の住宅延床面積の平均値を、熱使用量には各都市平均世帯の 1 暖房期の暖房用熱使用量をもとに面積当たりの熱量を求め、モデル住宅延床面積に相当する 1 暖房期の暖房用熱使用量を計算した結果を、月消費支出には各都市平均世帯の月消費支出を適用する。

2) 地域暖房熱料金単価の選定

熱供給区域によって地域暖房熱料金単価に差があるため、その都市を代表する単価を選定する必要がある。

東京都は、住宅向けの熱販売がある 13 区域のなかで熱販売量が多い 6 区域を選び、各区域の熱供給延床面積を加味した平均熱料金単価を採用した。その結果、基本料金は 70 ～ 80 ㎡未満 4099（円 / 戸）、従量料金は 2.403（円 / MJ）になった。北京市は、北京市熱力集団の熱料金単価（表 4）の 24（元 / 熱供給面積（㎡）・年）を適用する。ソウル市は、地域暖房熱販売量全体の 6 割を占める韓国地域暖房公社の熱料金単価（表 6、表 7）の基本料金 49.02（ウォン / ㎡）、従量料金 53.11（ウォン / Mcal）を適用する。

3) 地域暖房の熱料金計算・比較

1) で設定したモデル住宅条件と 2) の地域暖房熱料金単価により、モデル住宅の 1 暖房期にかかる地域暖房熱料金を計算し、その結果を平均世帯月消費支出に対する比率の対比で比較を行なう。表 9 にその計算結果を示す。

比率が一番高いのは北京市、次がソウル市で東京都がもっとも低い。

図 8 モデル住宅の比較流れ

表 8 都市別平均世帯の生活状況概要⁸⁾⁹⁾¹¹⁾²⁶⁾²⁷⁾²⁸⁾

項目	東京都	北京市	ソウル市
1 ヶ月実収入	585,818 円	5,417 元	3,204,900 ウォン
1 ヶ月消費支出	350,664 円	3,583 元	2,199,600 ウォン
住宅延床面積	64.2 ㎡	77.3 ㎡	83.6 ㎡
1 暖房期の暖房用熱使用量	9,868MJ	33,162MJ	39,625MJ

実収入：税込み収入であり、世帯員全員の現金収入を合計したものである。
消費支出：生活費のことであり、日常の生活を営むに当たり必要な商品やサービスを購入して実際に支払った金額である。

図 9 モデル住宅条件設定

この結果には地域暖房料金単価の要因だけでなく、東京都の暖房用熱使用量が小さい要因も無視することはできないが、北京市の地域暖房料金が家計での負担が一番大きいのは明確である。

4) 「地域暖房の場合」と「ルームエアコンの場合」の比較

住宅の暖房方式には、地域暖房以外にも様々な方式があり、地域暖房料金の高低を評価するには個別の暖房方式にかかる暖房料金と比較する必要がある。本研究では、その一例としてルームエアコン方式の場合を想定して暖房料金を計算し、地域暖房熱料金と比較した。

表 10 に比較に使用するルームエアコンの条件を示す。機器は各都市の大手家電メーカーが 2009 年に公表している製品カタログより、最新型の商品を選ぶ。モデル住宅の床面積に相応して機器台数は 3 台とし、機器使用時間や能力にはバラツキがあるものの、本研究で選んでいる機器毎の COP の差は僅差であることから、単純平均で求めた機器平均 COP を適用して、電気使用量を求める。機器価格に関しては、販売時期やメーカーの販売戦略によって大きく変動するために、2009 年 12 月時点で同時に検索した価格を適用する。耐用年数は 10 年と想定し、年間機器コストを計算する。電気料金は各都市電力会社の住宅用低圧電気料金単価を適用する。

上記の条件をもとに、都市別にモデル住宅の暖房方式がルームエアコンの場合の 1 暖房期にかかる暖房料金を計算する。

表9 モデル住宅における1 暖房期地域暖房熱料金

項目	東京都	北京市	ソウル市
地域暖房熱料金	45,902 円	1,440 元	493,641 ウォン
円換算	同上	22,154 円	49,364 円
平均世帯月消費支出に対する比率	13.1%	40.2%	22.4%

100 円=1000 ウォン、100 円=6.5 円で計算

表10 ルームエアコン条件

項目	東京都	北京市	ソウル市
機種及び台数	S40KTRXP-1 台 S22KTRXS-2 台	KFRd-35GW-1 台 KFRd-26GW-2 台	AR-F7S-3 台
機器メーカー	DAIKIN	Haier	SAMSUNG
機器平均COP	5.7	3.6	4.2
年間機器コスト	38,200 円	1,149 元	204,000 ウォン

注：機器のメンテナンス費は考慮しない

図10に「地域暖房の場合」と「ルームエアコンの場合」の暖房用熱料金を平均世帯月消費支出に対する対比で比較した結果を示す。

東京都と北京市のルームエアコンの電気料金は地域暖房熱料金より安い。機器コストを考慮すると地域暖房熱料金より高い結果となった。ソウル市はルームエアコンの電気料金のみでも地域暖房熱料金より大幅に高く、機器コストを上乗せするとともに高くなる。ソウル市の住宅用電気料金体系は電気使用量による段階料金の単価増加率がほかの都市より格別に大きく、ルームエアコンには不利である結果となった。これは、ソウル市で住宅向けの地域暖房が進んでいる裏付けにもなる。

6.3 モデル事務所を使用した地域冷暖房の熱料金比較

モデル事務所を設定し、1年間の冷暖房用熱消費量について都市別に地域冷暖房料金を計算して比較を行い、さらにモデル事務所が個別冷暖房を使用した場合の冷暖房料金を計算して地域冷暖房熱料金と比較を行う。図11に比較のながれを示す。

1) モデル事務所設定

表11にモデル事務所の建物概要と空調運転状態を示す。3都市ともに同条件のモデルを設定する。

2) 空調用熱負荷計算方法

New HASP/ACLD(Ver. 20091117) ソフトを利用して、モデル事務所の東京都、北京市、ソウル市における空調用熱負荷を計算する。計算に必要な気象データに関しては、東京都はソフトに同梱されている東京都標準年気象データ(3639999.has)を使用する。なお、New HASP/ACLDは日本での使用を前提にしているために、北京市とソウル市は米国エネルギー省²⁹⁾が公開しているエネルギー消費量算出ツール「EnergyPlus」用の気象データ(以下EPWデータ)を、New HASP用(以下hasデータ)に変換した。表12にEPWデータによるhasデータの変換方法を示す。

図12、図13に3都市における月別積算空調用熱負荷とピーク時冷暖房熱負荷の計算結果を示す。

3) 地域冷暖房の熱料金計算・比較

図12の空調用熱負荷量をモデル事務所の地域冷暖房による熱消費量として見なし、地域冷暖房熱料金を計算する。各都市の地域冷暖房熱料金単価は、東京都は丸の内熱供給社の各熱供給区域熱料金単価(2006年度)の平均値を、北京市は北京市熱力集団の熱料金単価

図10 地域暖房料金とルームエアコン料金の比較

図11 モデル事務所の比較流れ

表11 モデル事務所建物概要

建物概要	空調運転状態
<ul style="list-style-type: none"> 用途：事務所 構造・階数：SRC造、地上8階 延床面積：11,169 m² (うち冷暖房面積：5695 m²) 階高：3.70m 天井高：2.70m 断熱仕様：外壁…25mm、屋根…50mm 窓ガラス：複層ガラス(中空層12mm)、ブラインド室内側、熱吸グレー(淡色)+透明ガラス 	<ul style="list-style-type: none"> 運転時間：月～金 9:00～18:00 (余熱時間は1時間) 土、日、祝日、年末年始は運転しない。 内部発熱負荷： <ul style="list-style-type: none"> 照明…設定照度 750 lx 人体…0.15 人/m² 機器…20W/m² 外気取り入れ量：30 m³/人 設定温湿度条件： <ul style="list-style-type: none"> 冷房時…26℃、50% 暖房時…22℃、40%

(2006年度)を、ソウル市は韓国地域暖房公社の熱料金単価(2006年度)を適用する(表13)。

表15に3都市におけるモデル事務所の1年間の月別地域冷暖房熱料金の計算結果を示す。ただし、北京市は地域冷暖房による冷熱供給事例が極めて少なく、冷房用熱料金の規程もないため計算を行っていない。地域冷暖房熱料金が不動産の月賃貸料金(表14)に対する比率の対比で比較すると、暖房のみの場合は北京市が一番高く、次が東京都でソウル市がもっとも低い。冷房も含めた3都市の比較はできないが東京都はソウル市より大幅に高い結果となった。ソウル市の冷暖房熱負荷が東京都より大きいにもかかわらず、地域冷暖房熱料金が安いということは、ソウル市の地域冷暖房の熱料金単価が安いことがいえる。

4) 「地域冷暖房の場合」と「個別熱源方式の場合」の比較

表 12 北京市、ソウル市標準年気象データ構築方法^{注4)}

EPW データ利用項目	has データ項目への変換
①Dry Bulb Temperature (units °C)	気温：(①+50.0)*10 (単位 0.1°C)
②Relative Humidity (units %)	絶対湿度：1000*EXP(-5.58001+①*(0.0780136+①*(-0.000287894 +①*(0.00000136152+①*0.0000000349024))) -0.00487306*ABS(①))*②/100*10 (単位 0.1g/kg)
③field Diredt Normal Radiation (units Wh/m2)	法線面直達日射量：③*0.86 (単位 kcal/(m2h))
④field Diffuse Horizontal Radiation (units Wh/m2)	水平面天空日射量：④*0.86 (単位 kcal/(m2h))
⑤field Opaque Sky Cover	雲量：直接利用
⑥field Wind Direction (units degrees)	風向：16 方位に変換
⑦field Wind Speed (units m/s)	風速：⑦*10 (単位 0.1m/s)

表 13 事務所用地域冷暖房料金単価

都市名	基本料金	従量料金
東京都	320.868 円/MJ/h(暖房) 432.585 円/MJ/h(冷房)	2.857 円/MJ(暖房) 2.957 円/MJ(冷房)
北京市	30 円/熱供給面積・年(定額制)	
ソウル市	371.18 ユォン/Mcal/h(暖房) 3822 ユォン/Mcal/h(冷房)	74.51 ユォン/Mcal(暖房) 94.57 ユォン/Mcal(7,8月冷房) 56.74 ユォン/Mcal(7,8月以外冷房)

表 14 モデル事務所 (11,169 m²) の不動産賃貸価格³⁰⁾³¹⁾³²⁾

項目	東京都	北京市	ソウル市
賃貸単価	25800 円/坪・月	165 元/m ² ・月	1934000 ユォン/坪・年
月賃貸料	69,734,771 円	1,474,308 元	435,617,077 ユォン
円換算	同上	22,681,700	43,561,708

100 円=1000 ユォン、100 円=6.5 元、賃貸面積は延床面積の 8 割で計算

表 15 モデル事務所における地域冷暖房熱料金

month	東京都 (円)		北京市 (元)		ソウル市 (ユォン)	
	冷房	暖房	冷房	暖房	冷房	暖房
1 月	130,988	1,338,309	-	41,500	31,996	5,834,589
2 月	155,659	1,201,552	-	34,885	135,875	5,173,919
3 月	300,101	945,744	-	24,263	180,329	3,711,088
4 月	416,261	481,869	-	2,072	232,255	1,073,022
5 月	789,843	105,330	-	15	1,129,527	254,742
6 月	969,041	170,740	-	52	3,184,240	115,811
7 月	1,785,939	78	-	0	5,954,287	13,858
8 月	1,993,493	0	-	93	7,961,086	0
9 月	1,580,360	217,728	-	579	3,149,762	123,917
10 月	997,720	212,793	-	4,987	1,043,661	389,943
11 月	229,510	585,876	-	24,337	188,681	2,672,596
12 月	289,854	993,009	-	38,095	91,835	5,065,696
合計	9,638,769 (13.8%)	6,253,028 (9.0%)	-	170,880 (11.6%)	23,283,533 (5.3%)	24,429,182 (5.6%)

() の値は、不動産の月賃貸料に対する比率

北京市の地域暖房料金単価は床面積による年間定額制(表 4)のため、年間熱料金しか計算できないが月別空調用熱負荷(図 12)を参考として月別熱料金を記入

ウル市は都市ガスを北京市は石炭を燃料として選び、2009 年時点の燃料単価より年間燃料費を計算する³⁷⁾³⁸⁾³⁹⁾。年間人件費は、常駐管理人 1 人^{注 5)}を想定し、都市別の労働者の年間平均賃金をもとに年間人件費を計算する。年間修理費は、年間人件費の半分⁴⁰⁾とする。

図 12 月別積算空調用熱負荷

図 13 月別ピーク時空調用熱負荷

モデル事務所の冷暖房方式が個別熱源方式の場合を想定して冷暖房料金を計算し、地域暖房熱料金と比較を行なう。個別熱源方式の場合、空調設備の運転には様々な費用がかかるが、本研究では主な年間熱源設備費、年間燃料費、年間人件費、年間修理費を考慮する。表 16 に個別熱源方式の条件設定と諸費用の計算結果を示す。

年間熱源設備費は、2005-2007 年に竣工した東京都の事務所用建物を調べた結果³³⁾、熱源設備工事費が建物全体空調設備工事費の 18% であることから、北京市とソウル市も同様に全体空調設備工事費の 18% を熱源設備工事費とする。また、熱源設備の耐用年数を 15 年に想定し、年間熱源設備費用(金利と物価上昇を考慮しない)を計算する³⁴⁾³⁵⁾。年間燃料費は、個別熱源方式の熱源システムの COP を 0.6³⁶⁾と想定して各都市の冷暖房熱負荷より一次エネルギー使用量を計算し、燃料使用量を求める。エネルギー使用現況より東京都とソ

図 14 にモデル事務所の地域冷暖房料金と個別熱源方式料金を不動産の賃貸賃料に対する比率の対比で比較した結果を示す。東京都は地域冷暖房料金が個別熱源方式料金より高い結果となり、北京市も暖房のみの比較であるが地域暖房料金が個別熱源方式料金より高い結果となった。ソウル市は、地域冷暖房料金が個別熱源方式料金より安い結果となっているが、それ以上に個別熱源方式料金がほかの都市より高いことに特徴がみられる。

モデル住宅とモデル事務所を利用した地域冷暖房の熱料金シミュレーション結果を総括すると、地域冷暖房の熱料金がルームエアコン料金と個別熱源方式の料金より比較的安いことと、特にソウル市が安いことがわかる。その要因としては、各都市地域冷暖房の熱料金設定の考え方の違いと熱源システムの原・燃料消費構成の違いなどが考えられる。

7. おわりに

北東アジア地域にある東京都、北京市、ソウル市の地域冷暖房を対象に地域冷暖房事業の開始背景と最近 10 年間の変動、事業の現状、熱料金体系等項目について調査を行い、比較を行なった。

① 3 都市の地域冷暖房の開始時期は異なり、それぞれ異なった社会的背景のもとに導入されている。東京都は都市公害問題対策、北京市は市民の住環境改善対策（政府福祉事業）、ソウル市は大型ニュータウン開発事業に採用されている。

② 3 都市の最近 10 年間の年間熱販売量をみると差はあるものの、確実に増加している。なお、1998～2007 年の増加率は北京市が最大 63%、ソウル市が最大 55%に対して、東京都はその半分の最大 27%にとどまる。

③ 3 都市の 2006 年度の地域冷暖房の熱販売量は東京都とソウル市の年間熱販売量が 1298 万 GJ と 1903 万 GJ に対して、北京市は桁違いの 15808 万 GJ である。また、住宅向け熱販売量が地域冷暖房全体で占める割合は東京都が 3%、北京市が 66%、ソウル市が 92%となっていて、東京都は業務用に極端に偏っている。

④ 3 都市の地域冷暖房熱料金単価には多様性があり、東京都は熱供給区域による差が大きい。北京市は熱供給区域に関係なく市政府が一律に熱料金単価を決める。ソウル市は事業者による違いはあるが、その差額は小さい。

⑤ 3 都市に同一のモデル建物（住宅、事務所）を使用して地域冷暖房熱料金シミュレーションを行った結果、北京市の熱料金が一番高く、次に東京都で、ソウル市が最も安い。また、個別熱源方式と比較するとソウル市は電気料金と LNG 料金が高く、地域冷暖房料金が安くなった。

以上の比較結果を総括すると、東京都は地域冷暖房の熱料金が個別熱源方式に比べてやや高く、政策上のインセンティブも不十分なため 3 都市の中では普及度が遅い。北京市は、熱料金は高いが当初に熱料金を無料化しその後も政府の地域暖房推進策を進めたため早い段階から普及がかなり進んだ。ソウル市は政策上のインセンティブは無いものの、個別熱源方式の燃料となる電気と LNG の相対的価格が他の 2 都市より格別に高いため、個別方式よりも地域冷暖房料金が安く短期間に普及が進んだ、というような状況が見えてくる。今回の検討は、3 都市の地域冷暖房事業を概観し、その中から、各都市の地域冷暖房事業の現状と将来のあり方を考察することが目的

表 16 モデル事務所個別冷暖房の条件設定

項目	東京都	北京市(暖房)	ソウル市
全体設備工事費	32 千円/㎡	600 円/㎡	264 千ウォン/㎡
熱源設備工事費	64333 千円	601 千円	530855 千ウォン
耐用年数	15 年	15 年	15 年
燃料単価	基本料金(LNG) : 46200 円/件・月 単位料金(LNG) : 52.45 円/m ³	(石炭) 0.75 元/kg	暖房用(LNG) : 719.63 ウォン/m ³ 冷房用(LNG) : 396.39 ウォン
年間熱源設備費	4289 千円	40 千円	35390 千ウォン
年間燃料費	4127 千円	105 千円	46981 千ウォン
年間人件費	4459 千円	20 千円	31782 千ウォン
年間修理費	2230 千円	10 千円	15891 千ウォン

図 14 地域冷暖房料金と個別熱源方式料金比較

であったが、今後さらに料金設定の詳細、政策上のインセンティブの詳細などを調査することにより 3 都市の地域冷暖房事業のこれからのあり方及び将来像がよりはっきり見えてくるとと思われる。

注

- 注 1) 東京都の地域冷暖房熱供給延床面積が建築延床面積全体に対する比率
 注 2) 北京市の地域暖房熱供給が建築延床面積全体に対する比率
 注 3) ソウル市の地域暖房の統計は床面積ではなく、戸数を単位にするのが一般的である。国土海洋部の不動産統計を参考にした。
 注 4) has データ構築にあたり東京理科大学工学部 准教授 博士（工学）長井達夫氏に貴重なご指導を頂きました。
 注 5) 松浦技術士事務所 松浦房次郎氏に貴重なご指導を頂きました。

参考文献

- 橋雅哉：西ドイツにおける地域冷暖房の現況，日本地域冷暖房協会，地域冷暖房，28 号，pp. 1-6, 1989. 10
- Euro Heat & Power, District Heat in Europe 2005 survey
- 河原透，佐土原聡，尾島俊雄：低温熱媒地域冷暖房導入に伴う東京の地区分類に関する研究，日本建築学会計画系論文報告集，No. 448，pp. 29-38, 1993. 6
- 韋新東，高偉俊，李海峰，尾島俊雄：東京駅地区における既存熱供給事業のネットワーク化に関する研究，日本建築学会計画系論文集，No. 558，pp. 57-62, 2002. 8
- 曾享麟：計量収費後供熱系統的調節和控制研究報告，北京市供熱協会，供熱技術，2009
- 정 광 섭, 김 성 민：A Study on the Effect of Variable Outdoor Temperature upon Heating Load Pattern in Apartment Housings with District Heating System，大韓建築学会論文集，計画系，244 号，pp. 233-240, 2009. 2
- 황광일：A Feasibility Study on the Selection of Apartment Districts in Seoul for Using the Low-temperature Renewable Energy System，大韓建築学会論文集，計画系，181 号，pp. 263-270, 2003. 11
- 東京都総務局統計部，東京都の統計，2006

- 9) 北京市統計局, 北京統計年鑑, 2007
- 10) 中国国家统计局, 中国統計年鑑, 2007
- 11) ソウル市特別支庁, ソウル統計年報, 2007
- 12) 横山敏: 東京都と地域冷暖房, 日本地域冷暖房協会, 地域冷暖房, 1 号, pp. 14-17, 1973. 8
- 13) 大貫雅己: 新宿副都心近況, 日本地域冷暖房協会, 地域冷暖房, 2 号, pp. 15-16, 1973. 12
- 14) baojiu: 北京市供熱協会, 供熱論壇, 2007. 10. 25
- 15) 趙明済: 韓国における熱供給発電プラントと地域冷暖房事業の現況, 日本地域冷暖房協会, 地域冷暖房, 30 号, pp. 6-8, 1991. 5
- 16) 韓国地域暖房協会, 集団エネルギー, 3 号, p. 26, 2006
- 17) 日本熱供給事業協会, 熱供給事業便覧, 平成 11 年板〜平成 20 年版, 1999-2008
- 18) 中国国家统计局, 中国統計年鑑, 1999〜2008
- 19) <http://www.bdhg.com.cn> (2009. 6. 20 参照)
- 20) 北京市供熱協会, 北京供熱, 第 2 期, 2007. 3
- 21) <http://www.kienergy.net> (2009. 6. 20 参照)
- 22) 北京市供熱協会, 北京供熱, 第 3 期, 2007. 7
- 23) 北京市物価局, 京価 (商) 字, 372 号文献, 2001
- 24) 北京市発展・改革委員会, 京发改, 1886 号文献, 2008
- 25) エネルギー管理公団 (韓国), 省エネルギー統計, 地域暖房熱料金表, 2007
- 26) 住環境計画研究所, 家庭用エネルギーハンドブック, 2009
- 27) 于靚: 中国における都市部集合住宅のエネルギー消費に関する研究, 日本建築学会環境系論文集, No. 624, pp. 183-190, 2008. 2
- 28) 韓国エネルギー経済研究院, 家庭部門暖房設備別エネルギー消費統計, 1995-2007
- 29) <http://apps1.eere.energy.gov/buildings/energyplus/cfm/weatherdata.cfm> (2009. 12. 6 参照)
- 30) <http://www.office-now.co.jp> (2010. 3. 10 参照)
- 31) <http://www.beijingoffice.com.cn> (2010. 3. 10 参照)
- 32) ソウル特別市, seoul survey, オフィス賃貸料統計, 2006
- 33) 竣工設備調査用紙一覧, 空気調和衛生工学, 第 79 巻 2 号, 2005. 2, 第 80 巻 2 号, 2006. 2, 第 81 巻 2 号, 2007. 2
- 34) 北京市建設工事費管理处, 北京建設工事費事例 (オフィス), 京 ICP 備 05005276 号, 2008
- 35) 송승영, 김용인, 송규동: Analysis of Factors Influencing upon the Cost and Cost Prediction based on the Actual Cost Data for Building Mechanical System, 大韓建築学会論文集, 計画系, 232 号, pp. 295-303, 2008. 2
- 36) 渡部健一郎: 実測調査による熱源システムのエネルギー利用効率に関する研究, 日本建築学会環境系論文集, No. 599, pp. 103-110, 2006. 1
- 37) 東京ガス, ガス料金のご案内, 業務用・工業用選択約款-2, 2009. 9. 25
- 38) 北京市政管理委員会, 熱供給価格推定, 2008
- 39) 韓国ガス公社, 用途別天然ガス価格, 2009. 3. 1
- 40) 尾島俊雄著, 空気調和設備の経常費, 空気調和・衛生工学会編

(2010年6月10日原稿受理, 2010年12月8日採用決定)