

地域新エネルギー・省エネルギービジョン策定等事業

青森県地中熱利用推進ビジョン

2008年（平成20年）2月

青 森 県

目次

| | |
|---------------------------|----|
| はじめに | 1 |
| 第1章 地中熱利用推進ビジョン策定の目的 | 2 |
| 第2章 我が国の地熱資源利用をめぐる動向調査 | 7 |
| 2.1. 市場動向 | 7 |
| 2.1.1. 地中熱利用域 | 7 |
| 2.1.2. 低温熱水利用域 | 11 |
| 2.1.3. 中高温熱水利用域 | 12 |
| 2.2. 技術動向 | 15 |
| 2.2.1. 地中熱利用域 | 15 |
| 2.2.2. 低温熱水利用域 | 22 |
| 2.2.3. 中高温熱水利用域 | 24 |
| 2.3. 政策動向 | 26 |
| 2.3.1. 地中熱利用域 | 26 |
| 2.3.2. 低温熱水利用域 | 30 |
| 2.3.3. 中高温熱水利用域 | 30 |
| 第3章 青森県の地域特性調査 | 33 |
| 3.1. 地域特性 | 33 |
| 3.2. 地熱資源の賦存状況 | 36 |
| 3.2.1. 地中熱利用域 | 37 |
| 3.2.2. 低温熱水利用域 | 39 |
| 3.2.3. 中高温熱水利用域 | 40 |
| 3.3. エネルギー需要の動向 | 43 |
| 3.4. 地熱資源の活用状況 | 44 |
| 3.4.1. 地中熱利用域 | 44 |
| 3.4.2. 低温熱水利用域 | 49 |
| 3.4.3. 中高温熱水利用域 | 51 |
| 第4章 青森県における地熱資源利用事業モデルの検討 | 52 |
| 4.1. 地中熱利用域 | 52 |
| (1) 事業モデルの選定 | 52 |

| | |
|--------------------------------|-----------|
| (2) 事業モデル構築の条件 | 54 |
| 4.1.1. 戸建住宅への地中熱利用冷暖房システム | 56 |
| (1) 事業モデルの概要 | 56 |
| (2) 事業モデルの評価および課題 | 57 |
| 4.1.2. 公共施設への地中熱利用冷暖房システム | 60 |
| (1) 事業モデルの概要 | 60 |
| (2) 事業モデルの評価および課題 | 62 |
| 4.1.3. 道路および歩道への地中熱利用融雪システム | 64 |
| (1) 事業モデルの概要 | 64 |
| (2) 事業モデルの評価および課題 | 66 |
| 4.1.4. ハウス農業への地中熱利用暖房システム | 69 |
| (1) 事業モデルの概要 | 69 |
| (2) 事業モデルの評価および課題 | 70 |
| 4.1.5. ハウス農業への地下水熱利用暖房システム | 74 |
| (1) 事業モデルの概要 | 74 |
| (2) 事業モデルの評価および課題 | 75 |
| 4.2. 低温熱水利用域（高温源泉の有効利用） | 77 |
| 4.2.1. 事業モデルの概要 | 77 |
| 4.2.2. 事業モデルの評価および課題 | 79 |
| 4.3. 中高温熱水利用域（バイナリー発電） | 80 |
| 4.3.1. 事業モデルの選定および概要 | 80 |
| 4.3.2. 事業モデルの今後の方向性 | 83 |
| 第5章 青森県内地熱資源の利用促進に向けた方策 | 86 |
| 資料編 | 89 |
| 資料1：地熱資源各利用域の利用形態一覧表 | 90 |
| 資料2：青森県における地中熱利用のための広域地下水調査結果 | 91 |
| 資料3：単位深度あたり地中熱交換量の参考値 | 126 |
| 資料4：先進地調査報告 | 127 |
| 資料5：補助金関係資料 | 130 |
| 資料6：青森県地中熱利用推進ビジョン策定委員会名簿 | 139 |
| 参考文献 | 140 |
| 図表類一覧 | 141 |

はじめに

エネルギーの安定供給や地球温暖化対策の推進が、世界的に大きな課題となっている今、いかにして、経済（Economy）、エネルギー（Energy）、環境（Environment）の3つのEのトリレンマを克服し、持続可能な社会へのソフトランディングを実現していくかが問われている。

2005年5月に東京大学が産業界との連携のもとで提唱した「持続型社会へ向かうエネルギービジョン」は、2030年における我が国のグランドビジョンとして、「Triple 50」という具体的な目標を掲げながら、我が国が、地球規模で進行する環境破壊や急速に進行する高齢化といった環境の変化に対応しながら、エネルギー分野の技術開発を通じて、エネルギーセキュリティの確保と同時に、日本経済の競争力の維持・向上を実現していくことを提唱したものである。このことは、日本が、3つのEのトリレンマを解決し、活力と豊かさを確保しながら、環境に優しい持続可能な社会へのソフトランディングを目指していくことに他ならない。

一方、青森県では、1999年度に「青森県地域新エネルギービジョン」を策定、エネルギー賦存量の算出、エネルギー種別毎の導入目標の設定等を行い、県として地域新エネルギーの積極的な導入推進を図ってきたところである。また、青森県のエネルギー分野での豊かなポテンシャルを、持続可能な社会の先進地域の形成や県全域の産業振興に結び付けていくため、2006年11月、「青森県エネルギー産業振興戦略」を策定した。本戦略の実現には、県内に豊富に賦存する地域固有の未利用エネルギーである地熱資源の活用が重要であり、県は重点導入を図るため、ここに「青森県地中熱利用推進ビジョン」を策定することとした。

青森県内では既に、地中熱利用ヒートポンプシステムによる融雪が多数導入されており、その件数は国内でも圧倒的に多い。これらの経験と本ビジョンの策定により、今後、地熱資源利用を通じた青森県の発展と我が国における持続可能な社会の形成につながることを期待してやまない。

なお、本調査は、独立行政法人新エネルギー・産業技術総合開発機構（NEDO 技術開発機構）の2007年度「地域新エネルギー・省エネルギービジョン策定等事業」の補助により実施した。

第1章 地中熱利用推進ビジョン策定の目的

二酸化炭素排出量の削減努力をしなければならない国際情勢および、将来起こりうる石油の供給不安定化への対応は、エネルギー自給率の低い日本(エネルギー総供給の約8割を海外に、また、約5割を石油に依存)にとって重要な問題である。そこで、これらの問題を解決するために東京大学では、エネルギー (Energy)・環境 (Environment)・経済 (Economy) の3つのEのトリレンマの解決をテーマに、産業界とともに「持続型社会研究協議会」を設立し、2005年5月には「持続型社会へ向かうエネルギービジョン」(Triple 50)として取りまとめ、公表した。具体的には、日本が持続可能な社会を実現するため、2030年時点での日本の目指すべきエネルギービジョンとして、以下を設定している。

- ① エネルギー自給率 50%
- ② エネルギー利用効率 50%
- ③ 化石燃料依存率 50%

また、翌年(2006年)5月には、経済産業省により、エネルギー安全保障を核とした「新・国家エネルギー戦略」が公表されており、エネルギーセキュリティの確保、環境と経済の調和による持続可能な成長、エネルギー問題でのアジア・世界への貢献を基本目標に、以下5つの数値目標を掲げている。

- 1) 省エネルギー目標:2030年までに GDP あたりエネルギー利用効率を更に30%改善する。
- 2) 石油依存度低減目標:2030年までに40%程度を下回る水準とする。
- 3) 運輸部門における石油依存度低減目標:2030年までに80%程度とする。
- 4) 原子力発電目標:2030年以降においても、原子力発電の比率を30~40%程度、もしくはそれ以上とする。
- 5) 海外での資源開発目標:2030年までに40%程度とする。

以上のように日本では、エネルギー戦略に対する中長期的な数値目標が既に掲げられているものの、短期的にはエネルギーを起源とする二酸化炭素の削減が進んでおらず(2002年実績で1990年度比12.0%増加)、更なる省エネルギー対策促進、新エネルギー導入促進、電力の燃料転換等の対策が必要となっている。

このような中、青森県では、1999年度にNEDO技術開発機構地域新エネル

ギービジョン策定等事業により「青森県地域新エネルギービジョン」を策定、エネルギー賦存量の算出、エネルギー種別毎の導入目標の設定等を行い、県として地域新エネルギーの積極的な導入推進を図ってきたところである。また、2005年度には、持続可能な社会の形成に向け、地域レベルから実現可能なモデルを先導的に構築していくための方向性や具体的なプロジェクト案を、東京大学と青森県が連携しながら「青森県エネルギー産業クラスター形成調査報告書」として取りまとめた。この中で、青森県における再生可能エネルギーの賦存量を試算した結果、図 1-1 に示すとおり、青森県のエネルギーポテンシャルは県内のエネルギー消費量の 111%を賄うことができると推定された。中でも地熱、風力、木質バイオマスの割合が高く、青森県で特徴的なエネルギーであるといえる。

また、このような青森県のエネルギー分野での豊かなポテンシャルを、持続可能な社会の先進地域の形成や県全域の産業振興に結び付けていくため、2006年11月、「青森県エネルギー産業振興戦略」を策定し、東京大学の Triple 50 の考え方に基づいた 2030 年における青森県のエネルギー消費構造のあるべき姿を設定するとともに、県内の各エリアにおいて重点的に振興を図るべき産業分野を定めた（図 1-2）。同戦略の実現に向けて、特に、重点産業分野の中でも津軽エリアの「アグリバイオ」（農林水産業への再生可能エネルギーの高度利用システムの導入）や「省エネ・雪対策」（省エネルギー技術の開発・導入、高効率な消融雪技術の開発利用）については、地域固有の未利用エネルギーである地熱資源の活用が重要である。

一方、近年、“地中熱利用システム”は、2000年10月の「地中熱利用ヒートポンプ協会（現在の NPO 法人地中熱利用促進協会）」の設立、2001年12月の日本地熱学会のもとに「地中熱利用技術専門部会」の設立、2002年の財団法人ヒートポンプ・蓄熱センターのもとに「地下熱利用とヒートポンプシステム研究会」の設立と、国内でも大きく注目を集め始めている。また、2004年10月には北海道大学大学院工学研究科にて、国内では初めて「地中熱利用システム工学講座」が開設（2007年9月終了）され、2005年には日本地熱学会誌において講座「地中熱利用ヒートポンプ」が企画されるなど、技術面、研究面、教育面含め徐々にではあるが、“地中熱利用システム”を取り巻く環境は整備されつつあり、北海道では既に市場も生まれつつある。更には、2006年度より環境省にて、「クールシティ推進事業」と称した地中熱・地下水を利活用したヒートアイランド対策による地盤・地下水への影響評価を実施して

おり、2010年度のガイドライン作成を目標とするなど、政策面の充実も図られている。

上記の背景を後押しに、地球温暖化対策やエネルギー消費構造転換に大きな効果が期待される地熱資源について、青森県における利用拡大および普及促進を目的として、本「青森県地中熱利用推進ビジョン」を策定するものである。

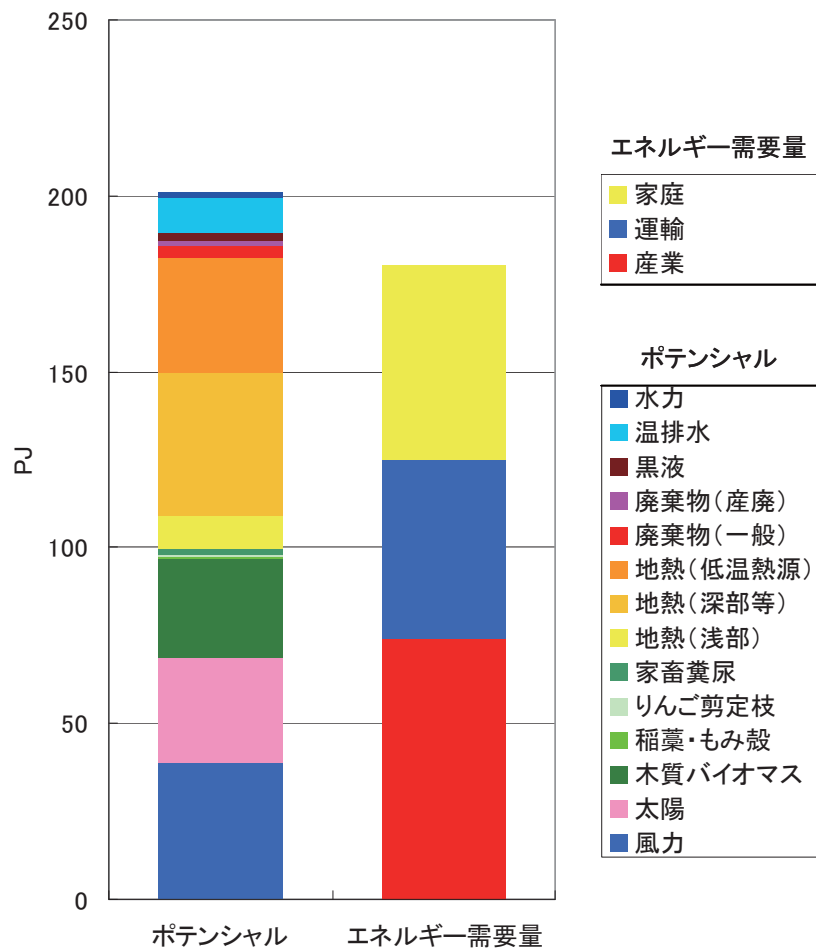


図 1-1 青森県のエネルギー賦存量およびエネルギー需要量
(青森県エネルギー産業クラスター形成調査報告書、2006)

図 1-2 「青森県エネルギー産業振興戦略」（2006年11月）の概要

青森県エネルギー産業振興戦略（概要）

青森県のエネルギーポテンシャルを活かし、**△** 〇経済・エネルギー・環境のトリレンマ解決への貢献
 「持続可能な社会の先進地域」の形成を目指す 〇青森県が目指す「生活創造社会」の実現

| Triple50に対応した消費構造（本県将来像） | 化石燃料 | 電力 | 熱回収利用(水素含む) |
|--------------------------|------|-----------|-------------|
| 本県現状値 | 43% | 31% | 26% |
| | 80% | 17% | 3% |
| | | 再生可能エネルギー | |

1. 「重点的・戦略的な産業振興の推進」 2. 「地域産業クラスターの形成」

基本的考え方

2030年のエネルギー将来像

産業振興の方針

重点産業分野

津軽エリア

「アグリバイオ」

- 〇資源循環農業の構築と地域ブランドの確立
- 〇農林水産業への再生可能エネルギーの導入
- 〇農工ベスタミックスの推進

「医療・福祉」

- 〇次世代型医療システムの開発・導入
- 〇緊急時医療に係る研究開発の推進と救命救急体制の構築

「省エネ・雪対策」

- 〇雪国ならではの先進的省エネルギー・雪対策システムの開発・導入

産業振興を支える知的コア・産業支援機能

1. 知的コアの形成・強化
2. 総合的産業支援のための環境整備
3. 産業振興のための環境整備

県南・下北エリア

「環境・エネルギー」

- 〇再生可能エネルギー、水素等分野の先進的な技術開発・実証
- 〇環境リサイクル分野の産業の振興
- 〇原子燃料サイクルを基本とする原子力分野の技術開発
- 〇ITER関連施設を中心とする核融合関連の研究開発拠点の形成
- 〇原子力を支える人材の育成、メンテナンス業務等への参入促進
- 〇環境・エネルギー関連施設を核とした産業観光の推進



全県対象

「IT」

- 〇IT技術の開発・実証
- 〇IT技術を活用した産業振興
- 〇ITを活用した安心・安全のまちづくり

「森林バイオマス」

- 〇効率的伐採システム構築
- 〇森林資源の素材・エネルギー両面での高度活用

※ 本ビジョンにおける地熱資源の定義について

一般的に“地熱”とは、雨水や河川水が地下に浸透してマグマからの熱で熱せられた、地熱貯留層による発電を指す場合が多い。本ビジョンのタイトルにもなっている“地中熱”とは、地下浅部のどこにでもある地下熱を示しており、地下温度の恒温性と大気温度との温度差により、省エネルギーな冷暖房や融雪を可能にするものである。その他にも、温泉地域の熱水の直接利用なども存在するため、本ビジョンでは以下表 1-1 に示す言葉により、利用技術を定義することとする。具体的には、①地中熱利用域を中心に、②低温熱水利用域と③中高温熱水利用域の3つの対象域について調査を実施した。なお、この3つの対象域は、財団法人新エネルギー財団（NEF）発行の「地熱エネルギー 開発と利用（地熱発電・直接利用）」において、「これからの開発の方向」および「今後利用増加を期待」に位置付けられている。

表 1-1 本ビジョンにおける地熱エネルギーの定義

| 温度 | 地球の熱資源 | 利用技術 |
|--------------|-------------|-----------------------------------|
| — 650°C — | マグマ | マグマ発電 |
| (地下3~5km) | 深部地熱資源 | 深部地熱発電 |
| — 350°C — | 高温熱水(蒸気)利用域 | (高温岩体発電) 従来型地熱発電 |
| (地下1~3km) | 中高温熱水利用域 | バイナリー発電 |
| — 220°C — | 低温熱水利用域 | 浴用利用or温泉発電or熱利用など |
| (地下1~1.5km) | 地中熱利用域 | 地中熱利用(ヒートポンプ)システム (全国どこでも利用可能) |
| — 100~80°C — | | |
| (地下100m~1km) | | |
| — 50~20°C — | | |
| (地下10~100m) | | |
| — 0°C — | | |

(出典) 第2回「地熱掘削情報・資源採取(2社合同)」(事後評価)分科会、
資料4、NEDO技術開発機構地熱開発室より(一部修正)

第2章 我が国の地熱資源利用をめぐる動向調査

我が国の地熱資源利用をめぐる動向調査として、①市場動向、②技術動向、③政策動向に分類して調査を実施した。それぞれの結果について、地中熱利用域、低温熱水利用域、中高温熱水利用域に分類して以下に明記する。

2. 1. 市場動向

2.1.1. 地中熱利用域

国内での地中熱利用域の市場動向を、図 2-1 に示す地中熱利用ヒートポンプシステム設置件数の推移で判断した場合、その件数は近年右肩上がりであり、市場規模は増大傾向にあると言える。また、国内の地中熱利用状況を、利用分野別にみた場合、表 2-1 に示すとおり、道路等融雪の設備容量が全体の 55%と最も大きい。ただし、利用率（設備容量を発揮した割合）の違いにより、利用熱量では住宅とその順位が逆転する。なお、地中熱ヒートポンプによる融雪設備を世界で最初に導入した国は日本であり、地中熱利用による融雪は、技術、システム、普及設置数ともに我が国が最も進んでいる（盛田、2004）と言われている。

次に、都道府県別の施工件数で判断した場合、図 2-2 に示すとおり、1 位が北海道であり、2 位が広島、本県青森が 3 位となっている。特に青森では、用途として融雪の比率が 80%と多い。

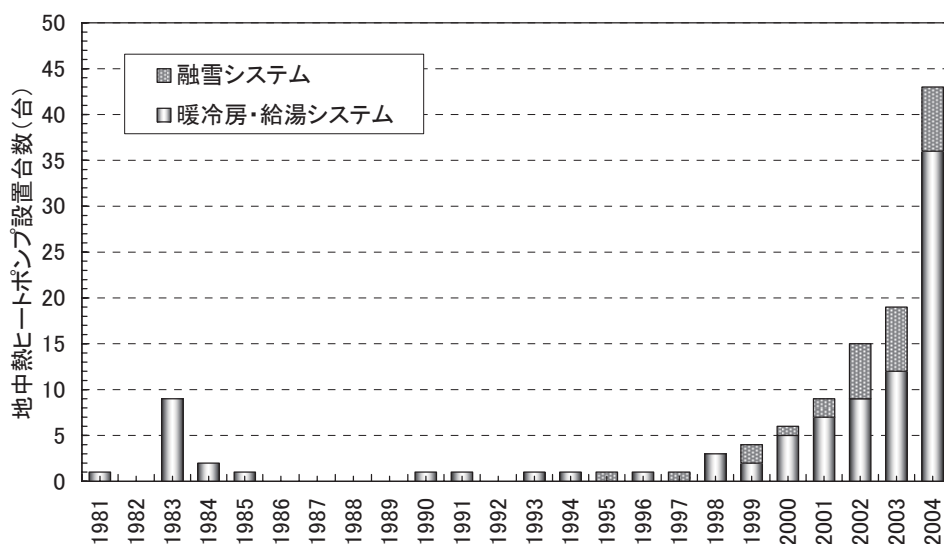


図 2-1 国内の地中熱利用ヒートポンプシステム設置件数の推移
(北海道大学地中熱利用システム工学講座、2007)

表 2-1 国内の地中熱利用状況 (NEF、2003)

| 利用分野 | 設備容量 (kWt) | 利用熱量 (GJ/yr) | 導入数 (台) | 利用率 (%) |
|-------|------------|--------------|---------|---------|
| 道路等融雪 | 2,163(55%) | 7,110(32%) | 29 | 10.4 |
| 公共施設 | 657(16%) | 3,360(15%) | 14 | 16.2 |
| 住宅 | 607(15%) | 9,124(41%) | 216 | 47.6 |
| その他 | 557(14%) | 2,772(12%) | 17 | 15.7 |
| 合計 | 3,985 | 22,366 | 276 | 17.8 |

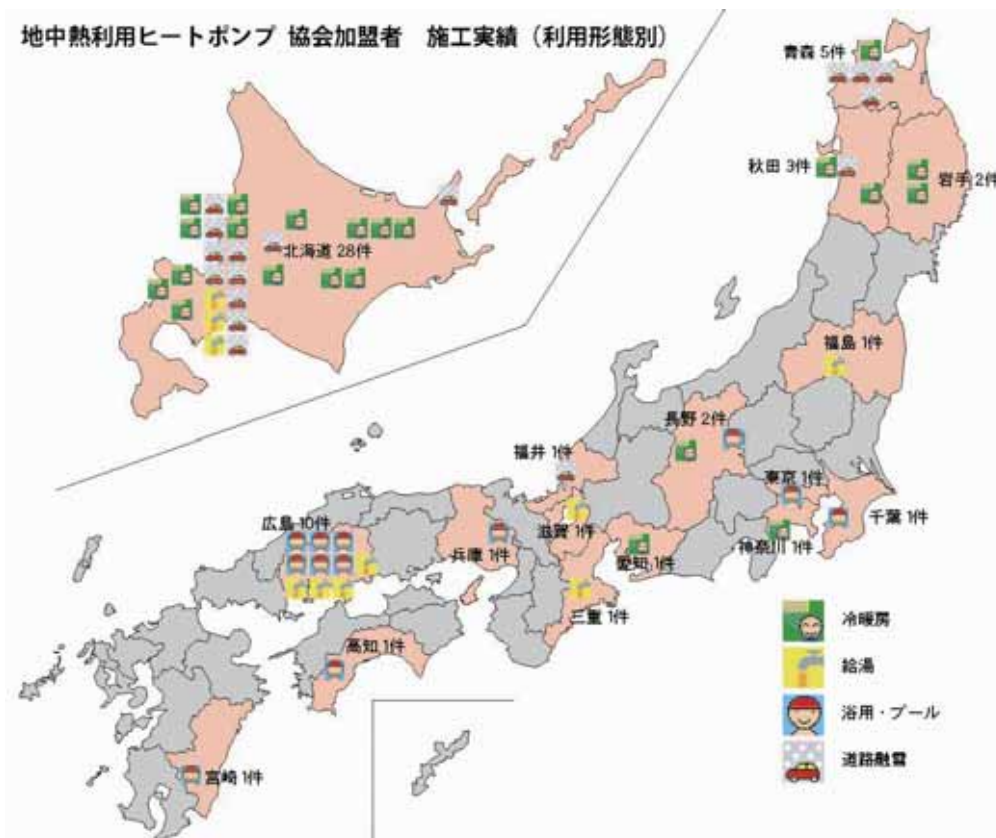
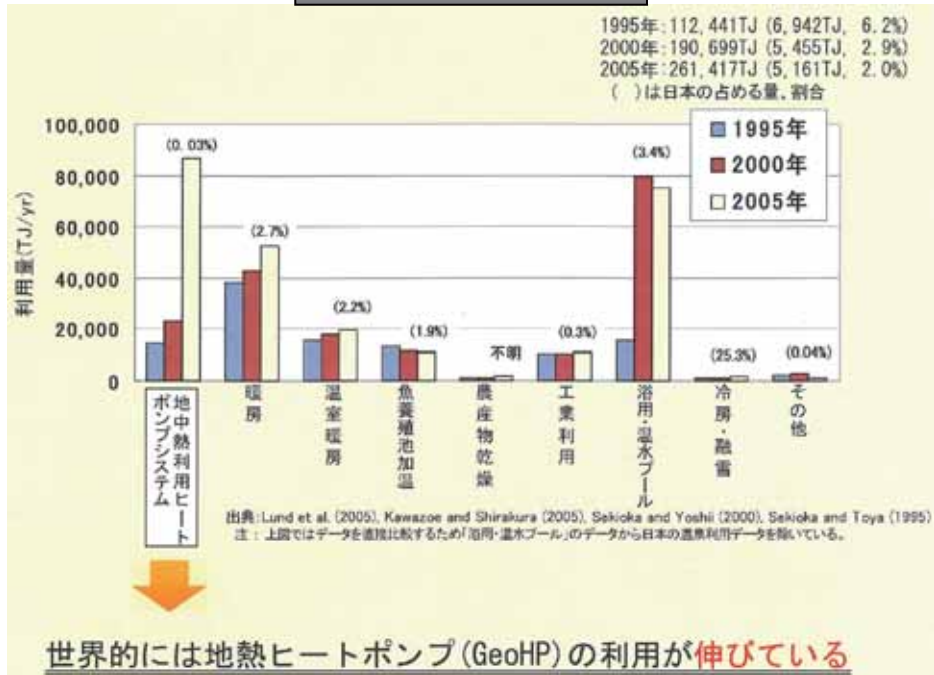


図 2-2 NPO 法人地中熱利用促進協会加盟者利用形態別施工実績 (環境省水・大気環境局、2007)

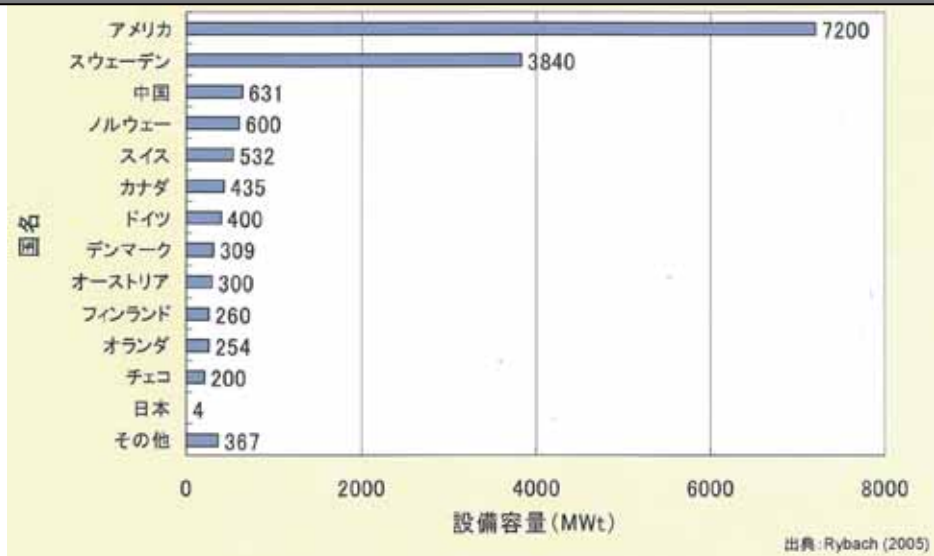
参考：世界の動向

(出典：NEDO 技術開発機構パンフレット)

世界の地熱直接利用



2005年の世界での地中熱利用ヒートポンプシステムの設備容量

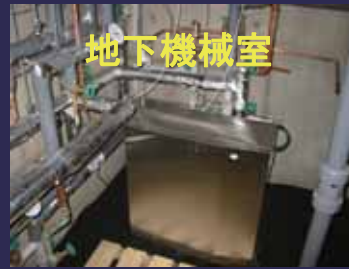


参考：北海道における地中熱利用ヒートポンプシステム導入事例

(出典：サンポット株式会社資料)

北海道では、地中熱利用ヒートポンプシステムを利用した冷暖房、給湯、融雪が広く普及している。

サンポット地中熱HPの設置例



サンポットGSHPの設置例



2.1.2. 低温熱水利用域

低温熱水利用域に属する“温泉”は、日本最大の地熱市場（村岡、2007）であり、2006年3月現在、我が国には27,866個の温泉泉源が存在する（環境省、2007）。また、図2-3に示すとおり、温泉泉源の個数は右肩上がりであり、毎年平均344個増えている（環境省、2007）。更には、図2-4に示すとおり、温泉の湧出量も右肩上がりであり、毎年平均43,600L/min増えている（環境省、2007）。

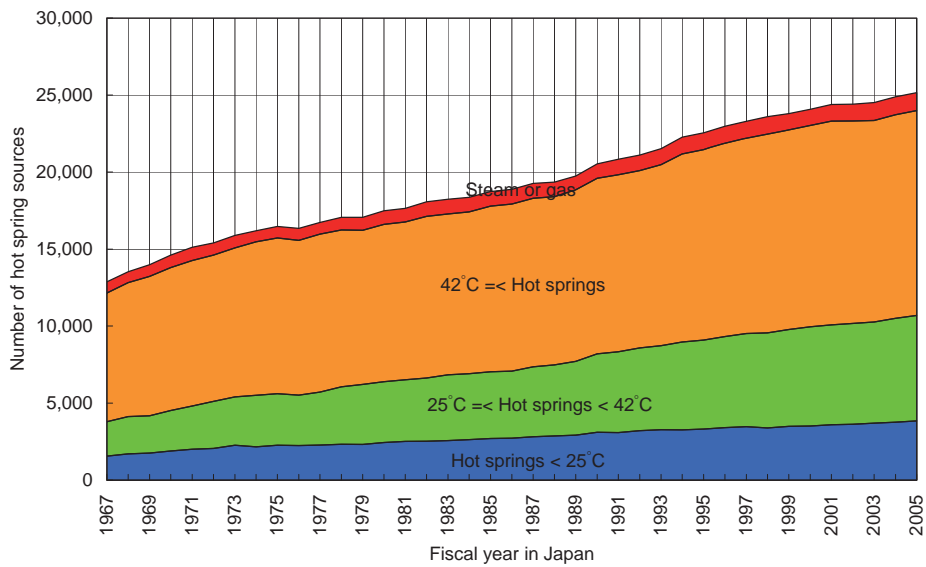


図 2-3 温泉泉源の個数推移（環境省、2007）

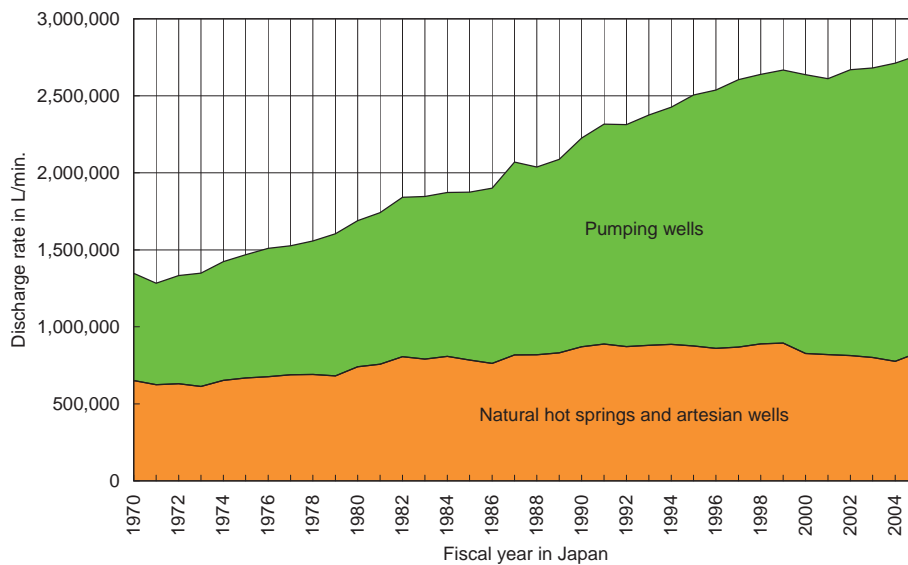


図 2-4 温泉の総湧出量推移（環境省、2007）

2.1.3. 中高温熱水利用域

電源別 CO₂ 排出量を図 2-5 に、発電電力量の推移を図 2-6 に、発電電力量割合（2004）を図 2-7 に示す。また、我が国の地熱発電所を表 2-2 に示す。

現在のところ、中高温熱水利用については、高温熱水を利用した地熱発電による電力供給が行なわれている。地熱発電は、純国産のエネルギーで、再生可能であり、CO₂ 排出量の少ない、環境にやさしいエネルギーである。地熱発電による電源別 CO₂ 排出量（本藤ほか、2000；本藤、2001）は、地熱発電 1kWh 当たりの二酸化炭素排出量は 15g であり、これは原子力の 22g、風力発電の 29g、太陽光発電の 53g より少なく、中小水力の 11g に次いで 2 番目に CO₂ 排出量が少ないエネルギーである。さらに、他の新エネルギーに比較して、設備利用率（発電能力を発揮した割合）も高いことが特徴である。

我が国の発電電力量は 1970 年以降急激に増加し、2004 年度には 9,705 億 kWh に達する。このうち新エネルギーは 51 億 kWh（0.53%）、地熱は 34 億 kWh（0.35%）であり、まだまだ、少ないといえる。地熱発電所は全国で 17 箇所あり、認可出力は 535,040kW である。これら地熱発電所は、八丁原発電所のバイナリー発電設備を除いて、高温の蒸気を用いた蒸気発電である。

中高温熱水を利用した地熱発電所については、九州電力株式会社が大分県の八丁原発電所構内において、2004 年 2 月からバイナリー発電設備（2,000kW）の実証試験を開始し、2006 年 4 月に事業用として営業運転を開始した（図 2-8 写真参照）。

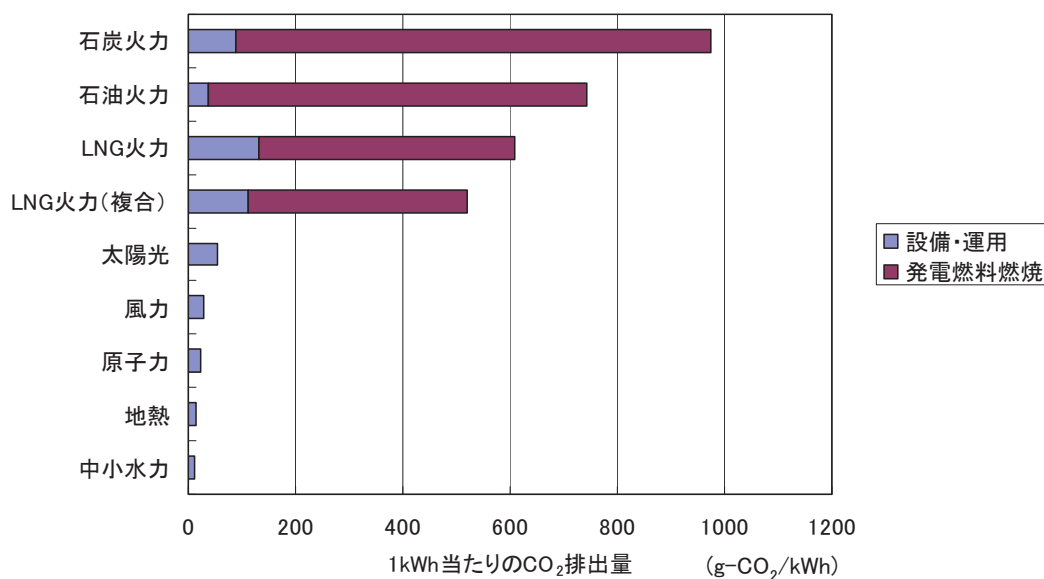


図 2-5 電源別 CO₂ 排出量

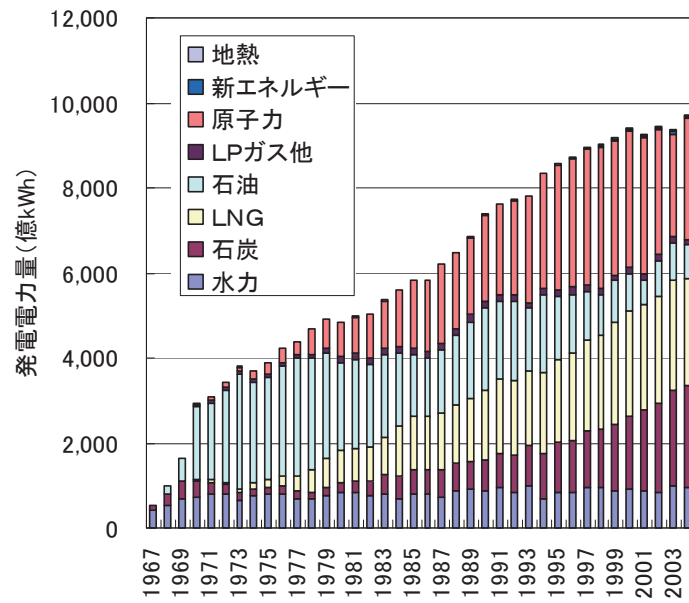


図 2-6 発電電力量推移

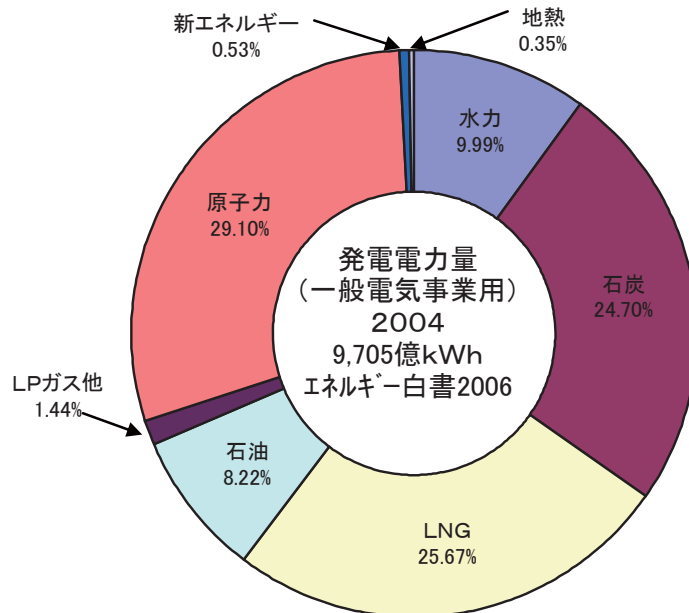


図 2-7 発電電力量割合 (2004)

表 2-2 我が国の地熱発電所

| | 区分 | 所在地 | 発電部門 | 蒸気供給部門 | 認可出力(kW) |
|-----------|-----|---------|------------|--------------|----------|
| 森 | 事業用 | 北海道森町 | 北海道電力(株) | | 50,000 |
| 澄川 | 事業用 | 秋田県鹿角市 | 東北電力(株) | 三菱マテリアル(株) | 50,000 |
| 葛根田 | 事業用 | 岩手県雫石町 | 東北電力(株) | 東北水力地熱(株) | 50,000 |
| | | | | | 30,000 |
| 松川 | 自家用 | 岩手県八幡平市 | 東北水力地熱(株) | | 23,500 |
| 上の岱 | 事業用 | 秋田県湯沢市 | 東北電力(株) | 秋田地熱エネルギー(株) | 28,800 |
| 鬼首 | 事業用 | 宮城県鳴子町 | 電源開発(株) | | 12,500 |
| 柳津西山 | 事業用 | 福島県柳津町 | 東北電力(株) | 奥会津地熱(株) | 65,000 |
| 八丈島 | 事業用 | 東京都八丈町 | 東京電力(株) | | 3,300 |
| 大岳 | 事業用 | 大分県九重町 | 九州電力(株) | | 12,500 |
| 八丁原 | 事業用 | 大分県九重町 | 九州電力(株) | | 55,000 |
| | | | | | 55,000 |
| | | | | | 2,000 |
| 山川 | 事業用 | 鹿児島県指宿市 | 九州電力(株) | | 30,000 |
| 大霧 | 事業用 | 鹿児島県霧島市 | 九州電力(株) | 日鉄鹿児島地熱(株) | 30,000 |
| 滝上 | 事業用 | 大分県九重町 | 九州電力(株) | 出光大分地熱(株) | 25,000 |
| 事業用計 | | | | | 522,600 |
| 大沼 | 自家用 | 秋田県鹿角市 | 三菱マテリアル(株) | | 9,500 |
| 杉乃井 | 自家用 | 大分県別府市 | (株)杉乃井ホテル | | 1,900 |
| 岳の湯 (休止中) | 自家用 | 熊本県小国町 | 廣瀬商事(株) | | 50 |
| 九重 | 自家用 | 大分県九重町 | (合)九重観光ホテル | | 990 |
| 自家用計 | | | | | 12,440 |
| 合計 | | | | | 535,040 |

出典：火力原子力発電技術協会，新エネルギー財団資料を編集

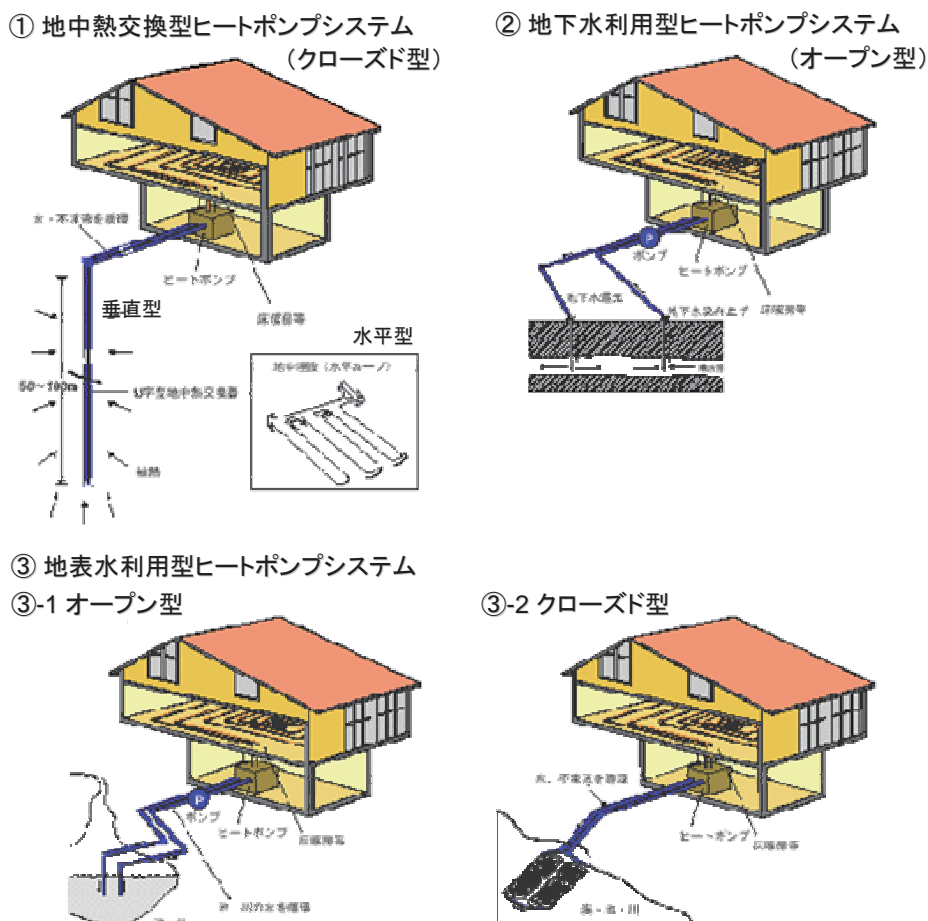


図 2-8 八丁原発電所構内のバイナリー発電設備

2. 2. 技術動向

2.2.1. 地中熱利用域

地中熱利用ヒートポンプの種類を図 2-9 に示す。一般的に地中熱利用ヒートポンプは、熱源の配管系統がオープンかクローズかにより分類され、図 2-9 の①地中熱交換型および③-2 地表水利用型は、クローズド型であり、オープン型に比べ適用が広いといえる。図 2-9 の②地下水利用型および③-1 地表水利用型は、オープン型のため、汲み上げ規制等の法律に準拠することが前提となる。①地中熱交換型は、垂直型と水平型に分類され、垂直型の方が一般的であり、特に地下数十～数百 m をボーリングするボアホール方式が代表的である。ただし、このボアホールの掘削費が、イニシャルコストが高額となる最大の原因である。



(出典)地中熱利用促進協会ホームページより

図 2-9 地中熱利用ヒートポンプの種類

近年このイニシャルコスト削減を目的に、建物基礎杭を地中熱交換杭として活用した導入事例が増えている。例えば、鋼管杭方式では札幌市立大学桑園キャンパス、既製コンクリート杭方式では大東文化大学板橋キャンパス、福井県立図書館、福井県教育センター、場所打ち杭方式では秋田市立山王中学校、東京大学柏キャンパス、四国電力本社ビルなどに設置済みである（大岡、2006）。秋田市立山王中学校では、場所打ち杭 75 本（深度 50m、図 2-10 写真を参照）を地中熱交換杭として活用し、60HP の地中熱源ヒートポンプと 140m³ の水蓄熱槽と組み合わせることで、ランニングコストの低減および電力の平準化（夜間電力使用）を図っている（秋林ほか、2007）。なお、ボアホールを掘削する場合も、近年では地中熱交換井専用のボーリングマシーン（図 2-11 に示すソニックドリルなど）が開発されており、低騒音で高速な掘削が可能となり、自走式により複数の削孔が容易となった。

次に地中熱利用システムの用途については、代表用途として冷暖房・給湯・融雪等が挙げられるが、近年その適用対象としてハウス農業への利用が徐々に増えている。例えば、青森県農林総合研究センターによる地中熱・風力利用ハウス栽培支援システム（図 2-12 写真を参照）や九州大学工学院と九州電力株式会社総合研究所による農業用ハウスを対象とした地中熱利用空調システムの実証試験などである。



図 2-10 秋田市立山王中学校における基礎杭への熱交換器設置状況



図 2-11 地中熱交換井掘削機（ソニックドリル）



図 2-12 青森県農林総合研究センターにおけるハウス農業への適用例

これらの地中熱利用冷暖房システムは、日経トレンディ(2003)において、ヒートアイランドが生む新ビジネスとして次世代型空調にも取り上げられており、今後ヒートアイランドビジネスへの進出が期待される。

他に近年の技術動向としては、地中熱交換器(高密度ポリエチレン製のUチューブ)および地中熱源ヒートポンプの国産化が挙げられる。地中熱交換器は、例えば株式会社イノアックコーポレーション(図2-13写真を参照)や東洋化工株式会社により製造されており、これまでの海外製に比べ納期の短縮が可能となった。また、地中熱源ヒートポンプは、冷暖房兼用(冷暖房能力10kW)のユニット型(循環ポンプや膨張タンクが予め組み込まれているタイプ、図2-14写真を参照)が、サンポット株式会社により製造されており、融雪専用のユニット型(図2-15写真を参照)が三菱マテリアル資源開発株式会社と三菱電機株式会社および三菱電機冷熱プラント株式会社により共同開発されている(石上ほか、2007)。また、ゼネラルヒートポンプ工業により、地中熱対応のビル用マルチヒートポンプも近年開発されており、これらヒートポンプの国産化により、性能やメンテナンス環境が大幅に改善された。ただし、国内での地中熱源ヒートポンプは、現在のトップランナーである空気熱源ヒートポンプに比べ、圧倒的に販売台数が少ないため受注生産となり、価格は高い傾向にある。

なお、地中熱利用システムの運転挙動は、多くの因子(例えば、地下熱物性値、設備稼働率等)によって影響を受け、複雑に変化するため、熱交換器周辺の熱移動は一般に有限差分法や有限要素法に基づく数値解析法、あるいは円筒型熱源関数や線源関数などの解析解に基づく解析法により予測計算が行われる。よって、この地中熱交換器周辺の熱移動シミュレーションを実施し、適正規模の熱源容量を選定する必要があるが、垂直ボアホールタイプでUチューブ(シングルorダブル)による冷暖房システムの設計・性能予測ツール「Ground Club」(図2-16参照)が北海道大学大学院(長野克則、葛隆生)によって開発された。2006年夏にはゼネラルヒートポンプ工業株式会社との間でライセンス契約が結ばれ、インターネットを通じて誰もが購入し、使用できるものとなった(北海道大学、2007)。また、産業技術総合研究所により①仙台平野、②秋田平野、③関東平野、④濃尾平野に関する水文環境図(図2-17参照)の作成・販売が行われており、4つの平野については、事前に地中温度や地下水流向流速の大まかな把握が可能となった。他にも、2005年に日本地熱学会誌において講座「地中熱利用ヒートポンプ」が企画されたこと

や、2007年には北海道大学地中熱利用システム工学講座により「地中熱ヒートポンプシステム」が出版（図 2-18 参照）されたことなどもあり、技術的な整備も近年活発である。



図 2-13 国産Uチューブ

（出典：イノアックコーポレーション㈱ホームページより）



図 2-14 地中熱源ヒートポンプユニット（冷暖房兼用タイプ）

（出典：サンポット㈱ホームページより）



図 2-15 地中熱源ヒートポンプユニット（融雪専用タイプ）

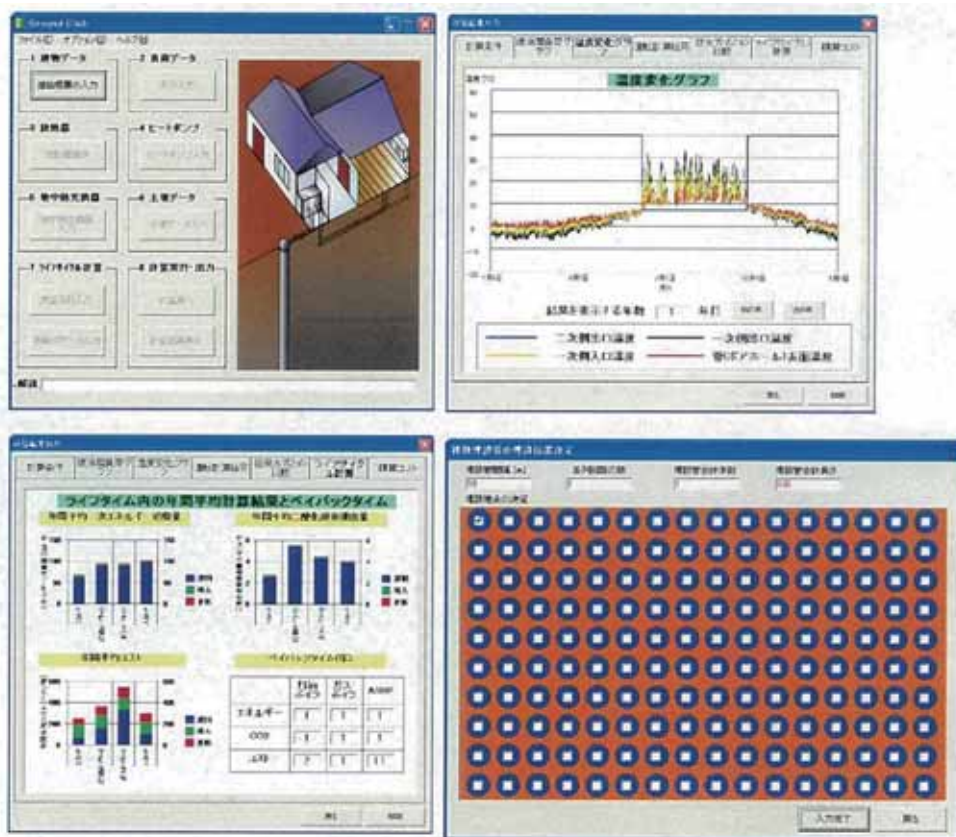


図 2-16 設計・性能予測ツール「Ground Club」の計算画面



図 2-17 水文環境図 CD-ROM



図 2-18 北海道大学による地中熱ヒートポンプシステム参考書

2.2.2. 低温熱水利用域

低温熱水利用域については、最も代表的な利用方法は浴用利用といえる。他にも温泉地域の熱水の直接利用など多数行われているが、近年は草津プロジェクトの温泉発電が注目を集めている。以下に概要として、読売新聞記事を示す。

温泉の町・群馬県草津町が、高温の源泉を活用した大規模発電を計画している。町内の約半数にあたる 1800 世帯分を賄える年間約 1040 万キロ・ワット時の電力を供給し、売電した場合は約 1 億～1 億 5000 万円の収入になるという。

町によると、発電方式は、アンモニア水を利用した“カーリーナサイクル発電（バイナリーサイクル発電の一種）”と呼ばれる方法を採用。沸点がマイナス 33℃と低いアンモニアの特性を生かし、95.4℃の「万代源泉」でアンモニア水を加熱する。一気に蒸気化させてタービンを回し、発電する。気化したアンモニアは、凝縮機などで水と混ぜて再利用するため、理論上は半永久的に安定した発電が可能。二酸化炭素などの温室効果ガスもほとんど排出しないという。発電に利用した源泉もそのまま旅館などへ給湯する。

発電施設の建設費は約 5 億円で、毎時 1290 キロ・ワット時の発電が可能。売電した場合、1 キロ・ワット時当たり 9～15 円が見込まれ、東京電力に支払う送電線の借用料を差し引いても、8 年後には初期投資を回収できるという。（以上、2005 年 12 月 7 日読売新聞より）

昨年 11 月、環境、経産両省は、本草津プロジェクトを「再生可能エネルギー高度利用地域計画」に認定。事業費（約 6 億円）の半分を国が補助、町と町民出資の新会社が事業を担う計画だ。温泉でのカーリーナサイクル発電は世界初の試みになる。（以上、2007 年 2 月 9 日読売新聞より）

他にも近年は、ヒートポンプにより温泉の排湯熱利用なども行われており、ゼネラルヒートポンプ工業㈱よりご提供戴いた飛騨川温泉しみずの湯の例を図 2-19 に、付知峽倉屋温泉おんぼいの湯の例を図 2-20 に示す。



図 2-19 飛騨川温泉しみずの湯の例



図 2-20 付知峡倉屋温泉おんぼいの湯の例

2.2.3. 中高温熱水利用域

バイナリー発電システムを図 2-21 に、バイナリー発電実証試験設備を図 2-22 に、カーナサイクル発電システム図を図 2-23 に示す。

中高温熱水を利用したバイナリー発電は、八丁原地熱発電所の他に、鹿児島県の霧島国際ホテルにおいて、バイナリー発電の実証試験（220kW）を実施中である。バイナリー発電は、従来の蒸気発電に比べて、低温の蒸気や熱水が利用可能であり、中高温資源のさらなる有効利用が期待されている。

バイナリー発電方式は、高温の地熱蒸気により直接タービンを駆動する従来の蒸気発電とは異なり、沸点の低い媒体（例えば、ペンタン：沸点 36℃）を使用してタービンを駆動することにより、従来の発電方式では利用できなかった低温域の地熱流体（蒸気・熱水）で発電を行うことを可能にする。このバイナリー発電方式の採用により、中高温域の地熱流体の利用価値が高まり、温泉地域など未利用エネルギーの有効利用が可能になる。

また、バイナリー発電方式の一種であるカーナ発電は沸点の低い媒体にアンモニアと水を利用するため、低温側では発電効率が炭化水素系ランキンサイクル（バイナリー）発電と比較して発電効率が 20～40%程度向上する特徴がある（大里、2005）。

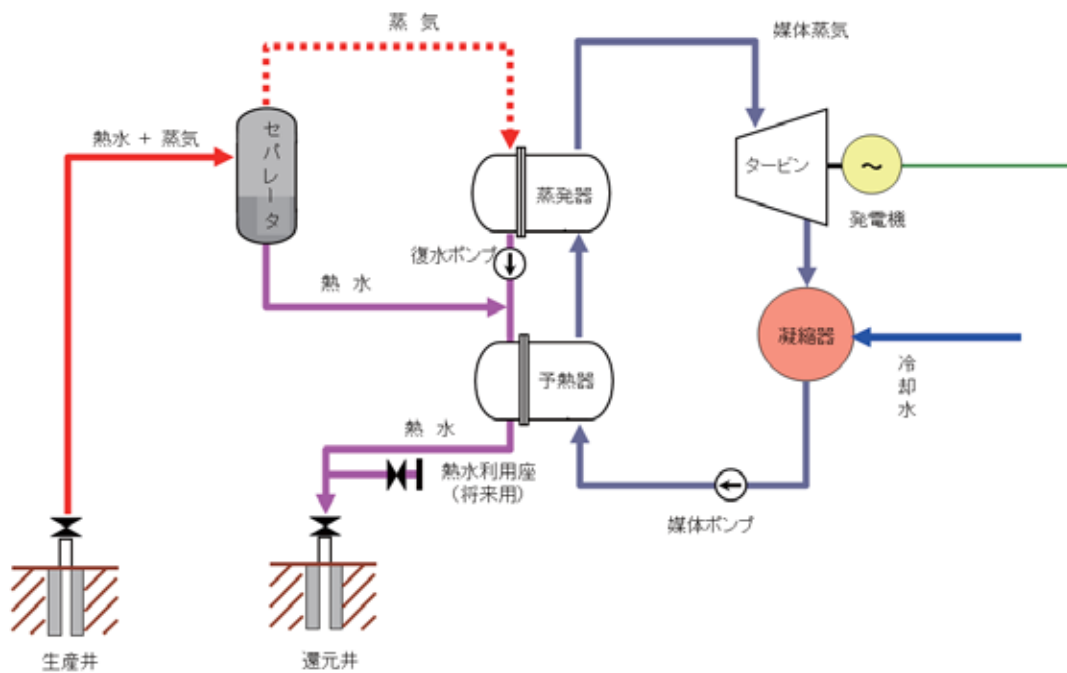


図 2-21 バイナリー発電システム図



霧島国際ホテル実証試験設備（富士電機製）

- ・ 発電端出力：220kW
- ・ 熱源条件：0.31MPa、135°C、4.18t/h

図 2-22 霧島国際ホテル実証試験設備

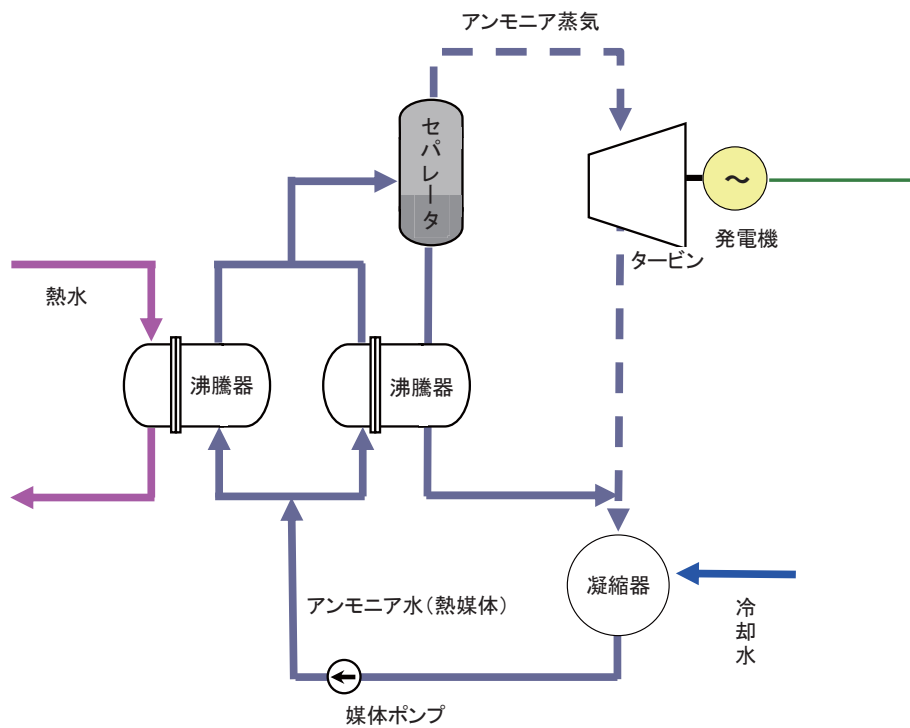


図 2-23 カリーナサイクル発電システム図

2. 3. 政策動向

2.3.1. 地中熱利用域

地中熱利用域に関する近年の代表的政策は、図 2-24 に示すクールシティ推進事業（地中熱利用型・地下水等活用品）といえる。具体的には、2006 年度から 5 ヶ年計画により、地下水・地中熱を利活用したヒートアイランド対策による地下水・地盤環境への影響評価を実施中である。参考までに、2007 年度実施案件を以下に示す。

- 1) 岩手県環境保健研究センター地中熱利用ヒートポンプ冷暖房システム実証事業 「ジオシステム株式会社」
- 2) 地中放熱による土壌内生態系への影響調査 「三菱マテリアル資源開発株式会社」
- 3) 大型施設での地下水揚水型冷房機器の長期稼動に伴う地下水・地盤環境への影響評価事業 「岐阜大学工学部社会基盤工学科」
- 4) 地下水の散水による環境影響とヒートアイランド現象緩和効果の評価 「東京大学大学院工学系研究科」

なお、最終年度（2010 年度）には、ヒートアイランド対策による影響評価のガイドラインを作成し、それ以降の地中熱や地下水を利活用したヒートアイランド対策の普及に役立てる計画である。この他にも環境省では現在、エネルギー特別会計における補助・委託・交付金事業の中で、地中熱を単独項目として設けており、特定条件下（地方公共団体率先対策補助事業ではヒートポンプ加熱能力が 50kW 以上）ではあるが補助率 1/2（クールシティ中核街区パイロット事業では、追加的設備費用の 1/2）が適用されている。

なお、同様の補助対策は、NEDO 技術開発機構の住宅・建築物高効率エネルギーシステム導入促進事業（①住宅に係るもの、②建築物に係るもの、③BEMS 導入支援事業）でも 1999 年から行われており、補助率は 1/3（2006 年度予算：51.6 億円）である。地中熱に関する補助件数は、図 2-25 に示すとおり近年右肩上がりであり、今後の益々の増加が期待されている。近年の実用例としては、新妻（2003）による *EIMY*（図 2-26 および下記用語説明参照）をコンセプトに取り入れた、株式会社星野リゾート星のや軽井沢に採用した地中熱および温泉排熱利用ヒートポンプ氷蓄熱、温泉蓄熱が有名である。

【*EIMY*とは？】

ある需要単位があった場合、その地域で利用可能な風力、太陽、地熱、中小水力、バイオマス等の自然エネルギーを自然条件、経済条件が許す限り最

大限利用し、その過不足分をナショナルグリッドにより需給するようなエネルギーシステム・経済システムをいう（新妻、2003）。

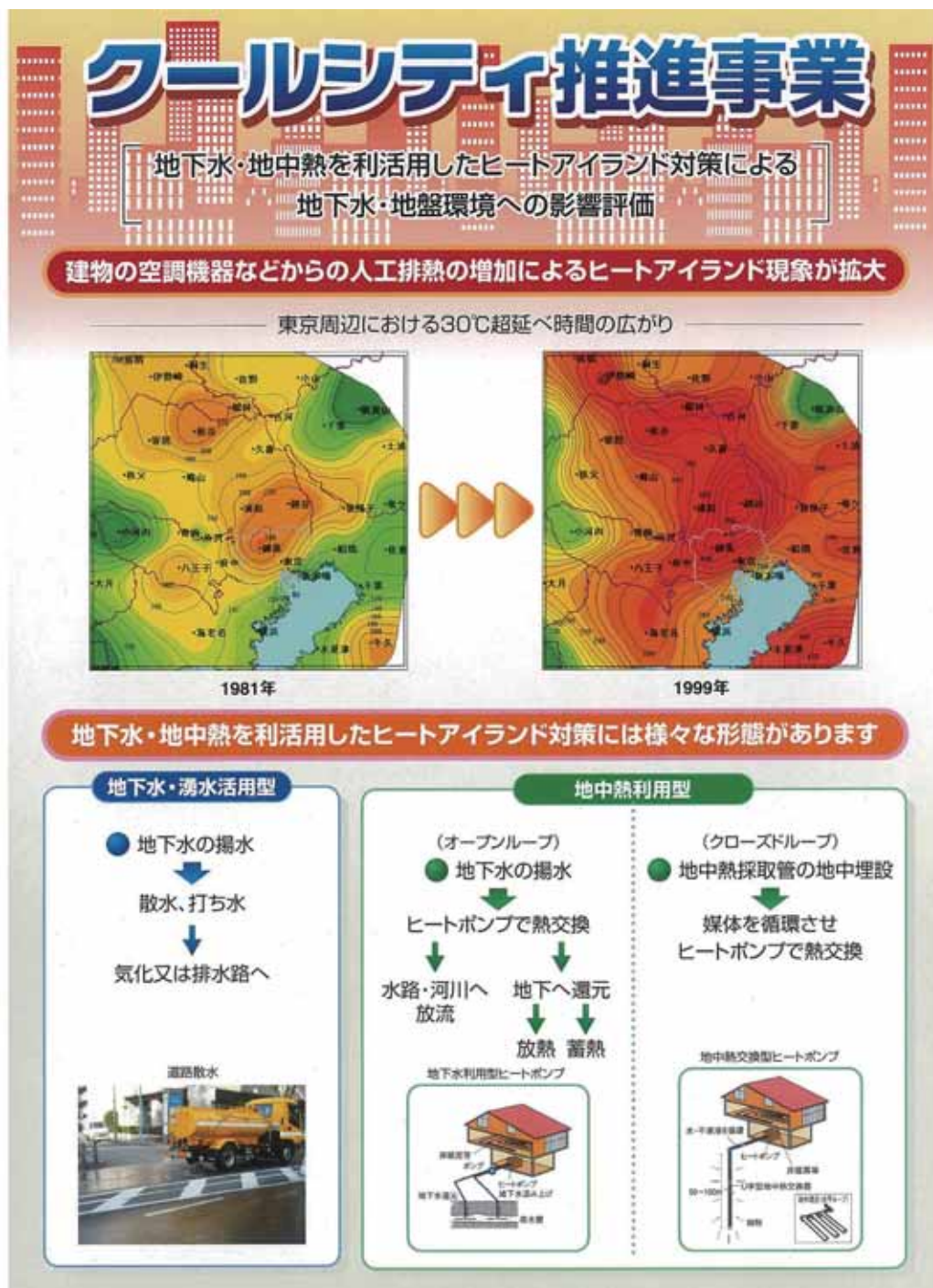


図 2-24 環境省クールシティ推進事業パンフレット

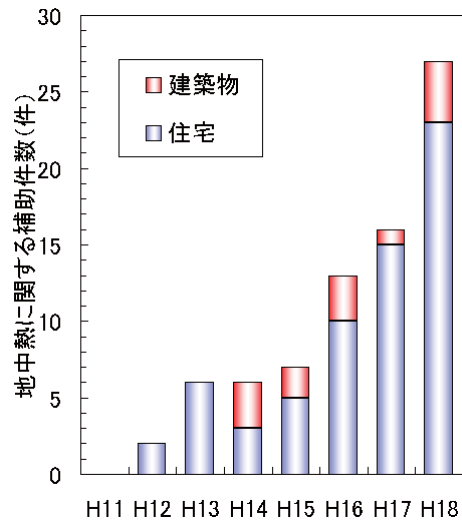


図 2-25 地中熱に関する NEDO 技術開発機構補助件数推移



図 2-26 EIMY 概念図

その他にも、地中熱に係る活動団体の増加も近年顕著である。以下に、2000年以降の活動団体についてまとめる。

- ◆ 2000年10月 地中熱利用ヒートポンプ協会の設立
 - ※ 現在の NPO 法人 地中熱利用促進協会 (GeoHP 協会)
 - 正会員 (団体) 総数: 69 名、正会員 (個人) 総数: 5 名 計 74 名
- ◆ 2001年12月 日本地熱学会のもとに地中熱利用技術専門部会の設立
 - 代表: 松永 烈 (産業技術総合研究所)
- ◆ 2002年 財団法人ヒートポンプ・蓄熱センターのもとに地下熱利用とヒートポンプシステム研究会の設立
 - 顧問: 落藤 澄 (北海道大学名誉教授)
 - 主査: 長野 克則 (北海道大学工学研究科教授)
- ◆ 2004年10月 北海道大学大学院工学研究科にて地中熱利用システム工学講座の開設
 - 2007年9月 (3年間) にて終了

2.3.2. 低温熱水利用域

低温熱水利用域に関する政策動向は、RPS 法（電気事業者による新エネルギー等の利用に関する特別措置法）における地熱発電の対象範囲の拡大が挙げられる。概要として以下に、RPS 法小委員会報告書（2007）の一部を示す。

地熱発電については、地熱資源である熱水を著しく減少させない発電の方法であるもののみが RPS 法の対象設備となっており、これまで、中高温型のバイナリー方式の 1 件のみが実際に認定されている。我が国には相当量の開発可能資源量が賦存しているものの、地熱発電に対する認識や経済性の改善が未だ十分でなく、新規の地熱発電所の開発は進んでいない。

今後の開発拡大が見込まれる地熱発電として、温泉水を活用するなどにより低温領域での発電がある。このような発電は、最もコストを要する掘削が基本的に不要であり、また、すでに湧出している温泉水を利用することから関係者の理解を得やすいと見られ、今後の普及が期待されている。このため、2007 年度以降は、温泉水を活用したもの等であっても、熱水を著しく減少させないと認められるものについては、積極的に RPS 法の対象設備として認定していくことが適当である。

2.3.3. 中高温熱水利用域

国による調査支援制度を図 2-27 に、地熱開発促進調査位置(C-2)を図 2-28 に示し、国による主な助成制度を表 2-3 に示す。

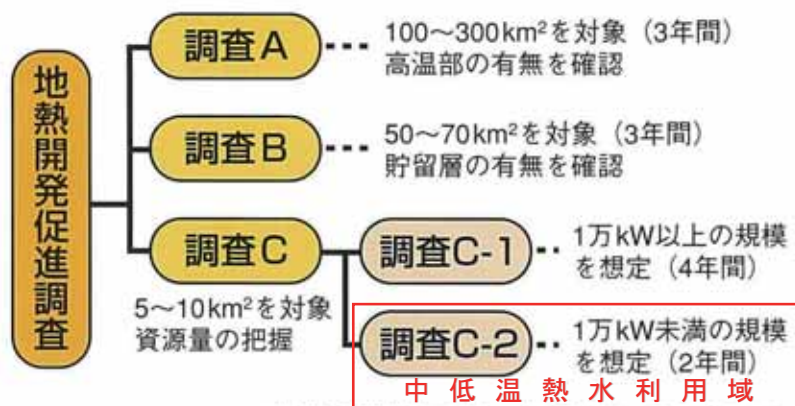
現在、国による調査支援として地熱開発促進調査が実施されている。地熱開発促進調査は探査リスクなどにより開発調査が進んでいない地熱有望地域について NEDO 技術開発機構が先導的調査を行うことにより、民間企業の開発を誘導し、地熱発電の開発促進を図ることを目的としている。この調査は、調査地域の有望度と既存のデータの有無により、調査範囲と調査内容が異なる A、B、C の 3 プロジェクトからなる。

- ① 調査 A：100～300km²の広い範囲を対象とした、地下の高温部の存在を確認するための広域調査。
- ② 調査 B：50～70km²の概査であり、貯留層の有無の確認を主な目的とする。
- ③ 調査 C：特に選定した 5～10km²の地熱有望地域で、長期の蒸気噴出試験を前提とした坑井調査を実施し、地熱資源量の把握を行う。

C 調査は 1 万 kW 以上の規模を想定した調査 (C-1 調査) と 1 万 kW 未満の規模を想定した調査 (C-2 調査：中小地熱調査) に区分されており、このうち C-2 調査が中高温熱水を対象とした調査で、2 年間の調査が実施される。

地熱開発促進調査 (C-2) は 2004 年から開始されており、調査は 2 年で行われる。具体的には、地表調査、坑井調査、環境調査、総合評価が行われ、資源量評価と経済性評価を通じて事業実施の可能性について検討される。

国による主な助成制度としては、表 2-3 より、NEDO 技術開発機構による「地域新エネルギービジョン策定等事業費補助金」「新エネルギー事業者支援対策事業」などがある。



※地熱開発促進調査は昭和55年に開始され、平成4年度から調査A、B、Cの3つのプログラムに分けられた。現在は調査Cのみが実施されている。

(出典)財団法人 新エネルギー財団(2007)地熱エネルギー開発と利用(地熱発電・直接利用), p21.

図 2-27 国による調査支援 (地熱開発促進調査)

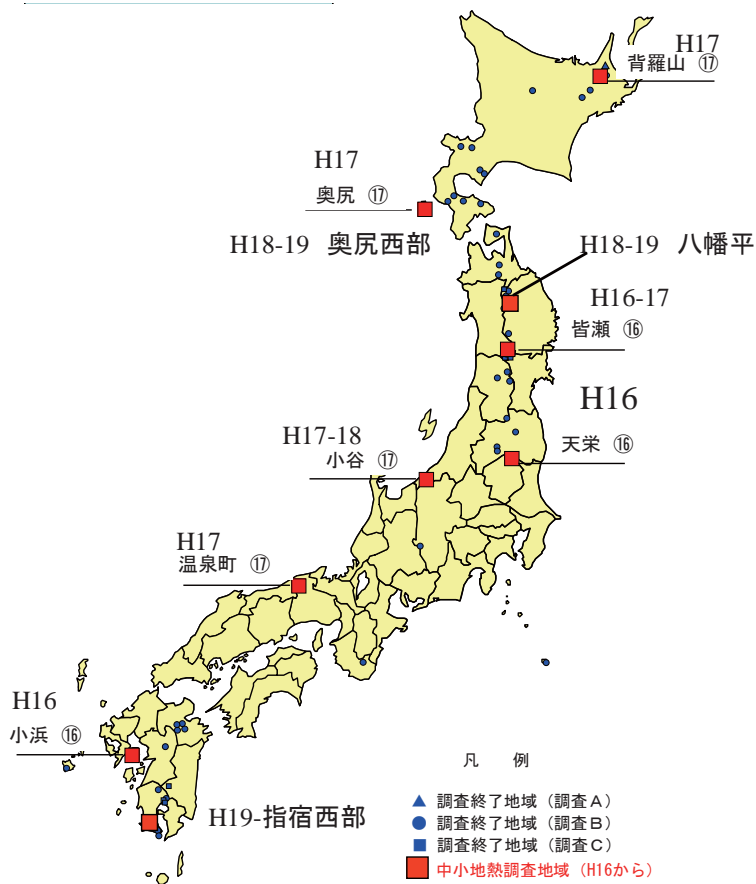


図 2-28 地熱開発促進調査位置 (C-2: 中小地熱地域)

表 2-3 国による主な助成制度

| 制度区分 | 制度の名称 | 助成の対象 | 助成措置の概要 | 照会先 |
|------|-----------------------------|---------|---|------|
| 補助 | 調査 地域新エネルギービジョン策定等事業費補助金 | 市町村等 | 当該地域の都市計画等の一環として新エネルギー導入計画(ビジョン)の策定等に対し定額を補助 | NEDO |
| | 普及促進 地熱発電開発費補助金 | 地熱開発事業者 | 調査井の掘削等に必要経費の1/2以内を補助, 地熱発電所の建設工事に必要経費の1/5以内を補助(バイナリー発電を除く) | NEDO |
| | 普及促進 地域新エネルギー等導入促進事業補助金 | 地方公共団体 | 地方自治体が策定した新エネルギー導入・省エネルギー促進計画のうち, 先進性がありかつ他の自治体への波及効果の高いものを認定して事業実施経費の1/2を補助(普及啓蒙事業は定額) | NEDO |
| | 普及促進 新エネルギー事業者支援対策事業 | 民間事業者 | バイナリー発電施設の設置に係る経費の1/3以内を補助 | NEDO |

第3章 青森県の地域特性調査

3. 1. 地域特性

図 3-1 に青森県の基本的データを、図 3-2 と図 3-3 に全国と青森県の最終エネルギー消費構造を示す。図 3-1 より、青森県の県民総生産 4.5 兆円を産み出すために、約 5000 億円位に上るエネルギー費用が使われている。また、図 3-2 より分野別の青森県のエネルギー消費構造は、全国と比較して運輸・民生分野の占める割合が高く、産業分野の割合が低い。エネルギー消費構造は図 3-3 より、電力 17% (全国 22%)、石油 65% (同 58%)、石炭 15% (同 11%)、天然ガス 1% (同 7%)、新エネルギー 2% (1%) であり、特徴を全国平均と比較すると以下である。

- ① 石油および石炭の消費が多い (産業用熱源と民生用暖房)。
- ② 天然ガスがきわめて少ない (都市ガス、LNG 火力の未発達)。
- ③ 電気が少ない。

従って、地域のエネルギー消費としての課題は、電気・天然ガスの利用を増やし、石油・石炭を高効率に、かつクリーンに使うことで総量を削減することにある。なお、地中熱利用システムは電気を利用したシステムであり、本県のエネルギー消費の課題解決に有効と考えられる。

- 青森県人口:143万人・50万世帯、勤労者数 52万人
- 面積:96万ha(2.5%,全国8位、うち森林64万ha)
- 県民総生産:4.5兆円(245万円/人)
- エネルギー費用:約5000億円
- 産業構成:1次5%・2次23%・3次72%
- 生産高(億円):農業2800、林業150、水産業670、工業13500
- 日本一:ひば(80%)、りんご(51%)、なたね、にんにく、ながいも



(出典)青森県エネルギー産業クラスター形成調査報告書(2006年3月)

図 3-1 青森県基本データ

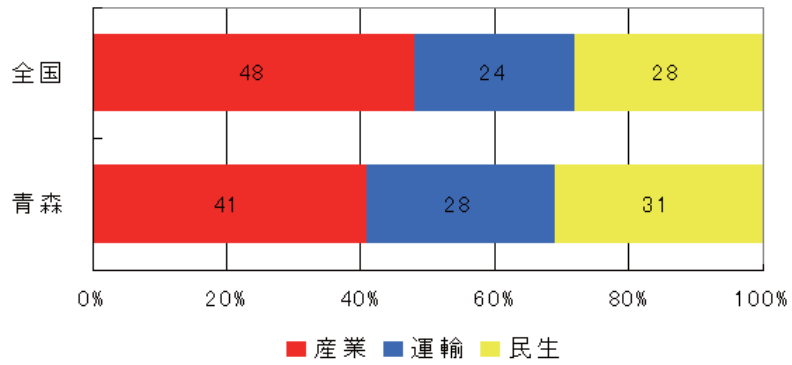


図 3-2 全国と青森県の最終エネルギー消費構造（分野別）
 （青森県エネルギー産業クラスター形成調査報告書、2006）

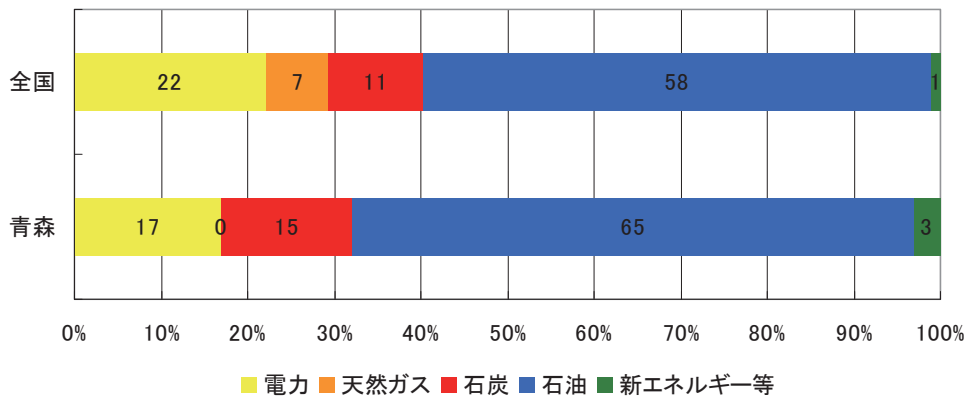


図 3-3 全国と青森県の最終エネルギー消費構造
 （青森県エネルギー産業クラスター形成調査報告書、2006）

青森県の気象特性は、主要都市である青森・弘前・八戸と東京を比較した場合、表 3-1 より、気温が低く、冬季の降雪に代表される降水量が多い寒冷地域の特徴的な気象特性を示す。なお、弘前に比べ青森・八戸の風速が大きいことも特徴的である。降雪量に関しては図 3-4 に示すとおり、青森県は全国でも有数の豪雪地帯である。

表 3-1 青森・弘前・八戸の気象特性

| | 降水量(mm) | | | | 平均気温(°C) | | | | 平均風速(m/s) | | | | 日照時間(時間) | | | |
|-----|---------|--------|-------|--------|----------|------|------|------|-----------|-----|------|------|----------|--------|--------|--------|
| | 青森 | 弘前 | 八戸 | 東京 | 青森 | 弘前 | 八戸 | 東京 | 青森 | 弘前 | 八戸 | 東京 | 青森 | 弘前 | 八戸 | 東京 |
| 1月 | 144.9 | 110.7 | 48.2 | 48.6 | -1.4 | -2.0 | -1.2 | 5.8 | 4.0 | 1.7 | 4.9 | 3.4 | 56.7 | 54.3 | 134.5 | 180.5 |
| 2月 | 116.0 | 96.4 | 52.7 | 60.2 | -1.1 | -1.5 | -0.9 | 6.1 | 4.1 | 1.8 | 4.8 | 3.6 | 72.9 | 77.7 | 131.8 | 161.1 |
| 3月 | 69.5 | 75.4 | 51.6 | 114.5 | 2.0 | 1.7 | 2.3 | 8.9 | 4.2 | 1.9 | 4.9 | 3.7 | 140.8 | 123.8 | 173.8 | 159.2 |
| 4月 | 60.7 | 62.3 | 58.9 | 130.3 | 7.9 | 8.3 | 8.3 | 14.4 | 4.2 | 2.1 | 4.4 | 3.6 | 187.3 | 181.4 | 194.3 | 164.9 |
| 5月 | 78.8 | 73.0 | 84.7 | 128.0 | 13.1 | 13.7 | 13.1 | 18.7 | 3.6 | 1.9 | 3.8 | 3.4 | 210.1 | 204.3 | 207.5 | 180.9 |
| 6月 | 82.2 | 72.1 | 99.2 | 164.9 | 17.0 | 17.7 | 16.1 | 21.8 | 3.3 | 1.5 | 2.9 | 3.2 | 180.7 | 173.5 | 168.8 | 120.1 |
| 7月 | 102.6 | 105.9 | 117.1 | 161.5 | 21.1 | 21.5 | 20.2 | 25.4 | 3.1 | 1.4 | 2.8 | 3.0 | 177.3 | 177.2 | 169.0 | 147.5 |
| 8月 | 129.3 | 124.9 | 139.8 | 155.1 | 23.0 | 23.3 | 22.3 | 27.1 | 3.0 | 1.3 | 2.9 | 3.2 | 190.8 | 187.8 | 173.3 | 177.5 |
| 9月 | 119.8 | 121.4 | 167.7 | 208.5 | 18.9 | 18.7 | 18.6 | 23.5 | 3.1 | 1.3 | 3.1 | 3.2 | 160.0 | 138.2 | 144.1 | 112.9 |
| 10月 | 106.0 | 94.4 | 77.0 | 163.1 | 12.6 | 12.2 | 12.7 | 18.2 | 3.4 | 1.5 | 3.5 | 3.2 | 152.9 | 133.8 | 163.1 | 129.9 |
| 11月 | 131.7 | 106.9 | 61.2 | 92.5 | 6.4 | 5.9 | 6.6 | 13.0 | 3.9 | 1.6 | 4.3 | 3.2 | 91.4 | 86.6 | 136.5 | 141.4 |
| 12月 | 148.6 | 114.5 | 41.7 | 39.6 | 1.3 | 0.9 | 1.6 | 8.4 | 4.1 | 1.6 | 4.5 | 3.2 | 54.7 | 55.8 | 128.4 | 171.1 |
| 年 | 1289.9 | 1157.8 | 999.7 | 1466.7 | 10.1 | 10.0 | 10.0 | 15.9 | 3.7 | 1.7 | 3.9 | 3.3 | 1675.6 | 1590.2 | 1925.1 | 1847.2 |
| | 88% | 79% | 68% | 100% | 64% | 63% | 63% | 100% | 112% | 52% | 118% | 100% | 91% | 86% | 104% | 100% |

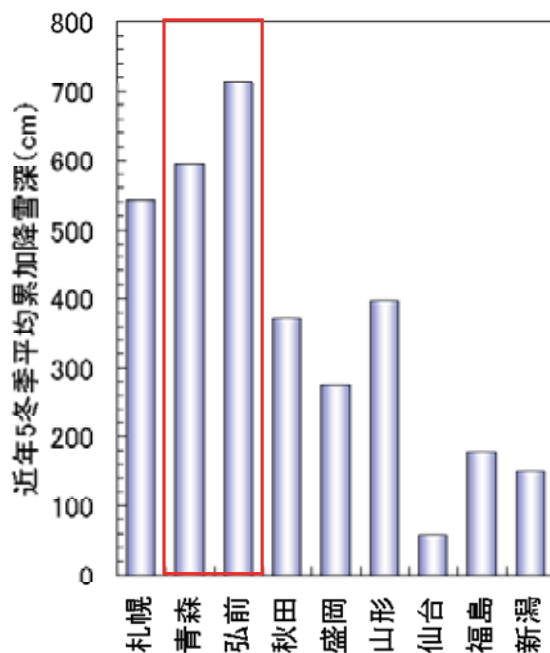


図 3-4 降雪深比較

3. 2. 地熱資源の賦存状況

青森県における地域新エネルギーの賦存量を図 3-5（地域別）および図 3-6（種類別）に示す。地域新エネルギー賦存量合計 687 千 kL は、青森県全体のエネルギー供給量の約 8.4%、需要量の約 13.0%を賄える量である。地域別では図 3-5 に示すとおり、津軽が 23.7%で最も多く、次いで下北 16.1%、八戸 15.9%となっている。地域的な特徴としては、賦存量の最も多い津軽は風力エネルギーと地熱エネルギー（低温熱水利用域）の構成が大きく、下北は風力エネルギーが 7 割を占める結果となっている。種類別では図 3-6 に示すとおり、風力エネルギーが最も多く 30.8%を占めており、次いで地熱エネルギー（低温熱水利用域）が 16.4%、一般廃棄物エネルギー13.8%、太陽熱エネルギー13.1%などとなっている。

以下に、青森県の地熱資源の賦存状況として、①地中熱利用域、②低温熱水利用域、③中高温熱水利用域に分類し示す。

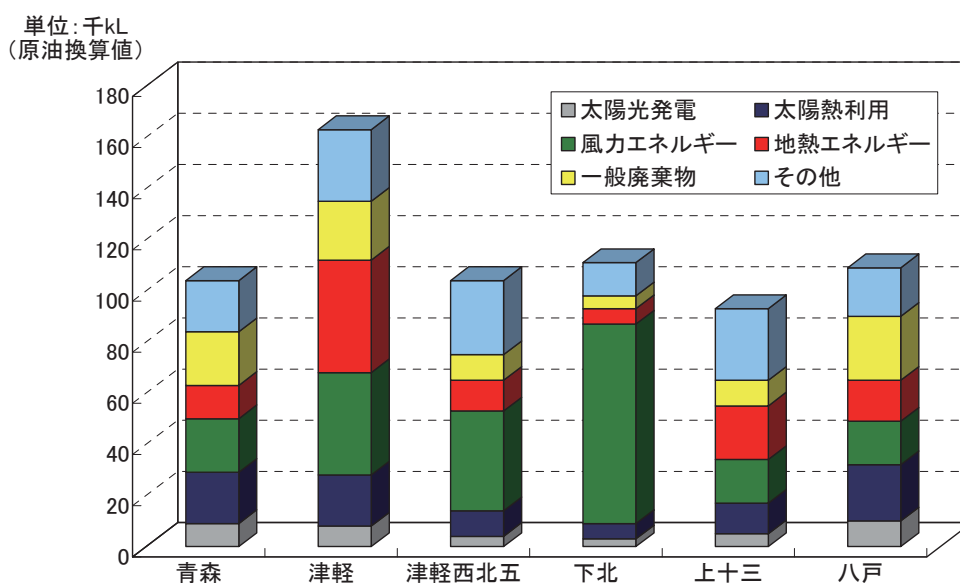


図 3-5 地域別新エネルギーの賦存量
(青森県地域新エネルギービジョン、2000)

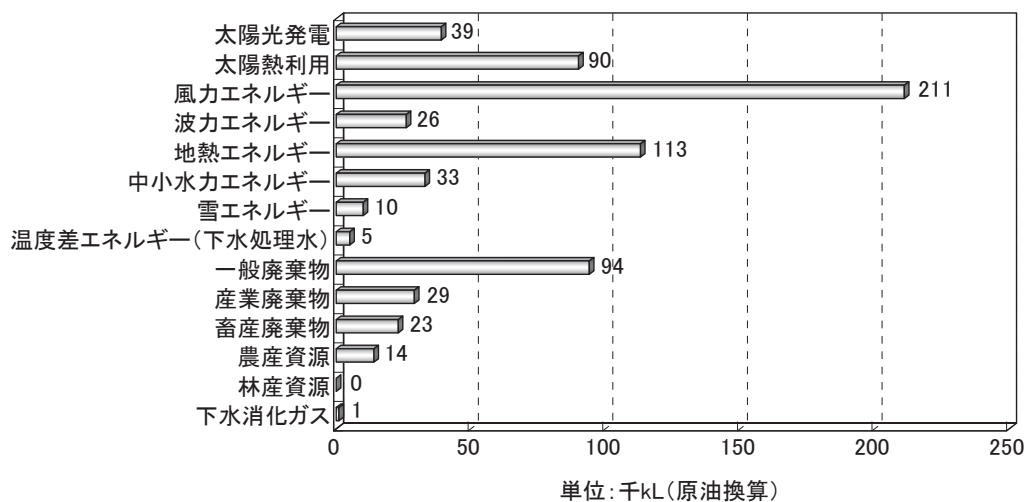


図 3-6 新エネルギー種別毎賦存量
(青森県地域新エネルギービジョン、2000)

3.2.1. 地中熱利用域

地中熱は全国どこでも利用可能な資源であり、一般的に地中温度と外気温との比較により、空気熱源ヒートポンプに対する優位性を温度で示すことが多い。仮に、図 3-7 より青森県の地中温度を 14℃とした場合の外気温との比較結果を図 3-8 に示す。図 3-8 より青森県では、外気温（空気熱源ヒートポンプ）に対する優位性は、暖房時により大きくなるものと考えられる。

なお、地中熱利用システムでは、地下水の熱移流により地中熱交換能力が向上するため、地下水の流向流速を把握することは有効である。そこで、本ビジョン策定に並行して行われた、独立行政法人産業技術総合研究所による「青森県における地中熱利用のための広域地下水調査」の成果を参照する。本調査では、まず、人口密集地での利用を念頭に、青森市、弘前市、八戸市周辺で、井戸の温度測定を行った。また、各地域での地下水流速を推定するため、広域流動数値モデルを作成した。このモデル作成のために、水質分析等の広域的な地下水調査も行っている。これらの詳細な現地調査の結果と、広域流動数値シミュレーションの結果は巻末資料に示す。

なお、結果概要としては、地中温度については、青森、弘前、八戸の 3 地域のうちで、弘前周辺が最も地下温度が高く、津軽平野全体で温度が高い傾向にある。八戸も比較的 temperature が高いが、水系によって温度が異なるようであ

る。また、シミュレーション結果から、青森平野では全体的に流速が高く、津軽平野では平均的流速が低い、弘前および黒石付近では流速が高い。青森、弘前、黒石付近では、場所によっては地下水による熱の移流効果が期待できると考えられる。以上より、弘前、黒石付近は、浅層地下温度が高く地下水流速が高いことから、地中熱による暖房に有利と考えられる。また、青森市内は、温度は低い、地下水流速が高いので熱移流効果により地層の見かけ熱伝導率が向上する可能性がある。



図 3-7 深度 100m における地下水温度 (山本、1989)

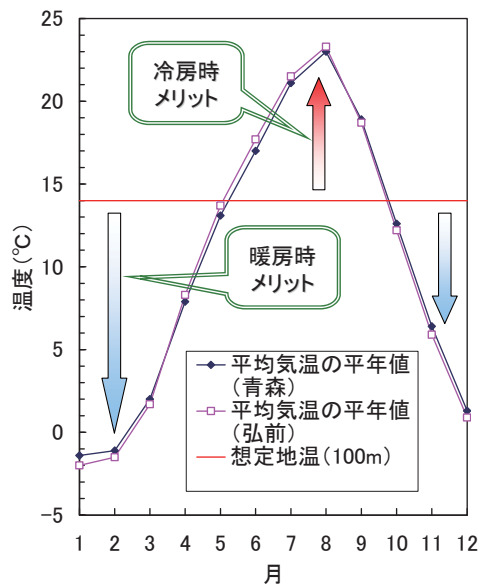


図 3-8 地中温度と外気温比較

3.2.2. 低温熱水利用域

青森県は表 3-2 に示すとおり、温泉地の数で全国 4 位、源泉の数で全国 7 位、湧出量で全国 4 位と温泉の宝庫である。青森県内の源泉数を地域別で比べた場合、表 3-3 より中南地域（弘前）が 437 件（県内総源泉数の 42%）と圧倒的に多い。この豊富な温泉資源の農業への利用が期待されている。すでに、春菊、根みつば、ほうれんそう、小松菜、ねぎなど葉菜類、（ミニ）トマト、いちごなどの果菜類、たらの芽、山うどなどの山菜類、チューリップ、カラー、トルコギキョウなどの花きなどの栽培に温泉が利用されている。

表 3-2 都道府県別温泉地数、源泉総数、湧出量（環境省、2005）

| 順位 | 温泉地数 | | 源泉総数 | | 湧出量(L/min) | |
|----|------|-----|------|-------|------------|---------|
| 1 | 北海道 | 249 | 大分県 | 5,053 | 大分県 | 267,392 |
| 2 | 長野県 | 248 | 鹿児島県 | 2,819 | 北海道 | 265,653 |
| 3 | 新潟県 | 154 | 静岡県 | 2,277 | 鹿児島県 | 200,419 |
| 4 | 青森県 | 145 | 北海道 | 2,265 | 青森県 | 163,959 |
| 5 | 福島県 | 139 | 熊本県 | 1,412 | 長野県 | 135,139 |
| 6 | 秋田県 | 122 | 長野県 | 1,034 | 熊本県 | 140,901 |
| 7 | 静岡県 | 107 | 青森県 | 1,028 | 静岡県 | 118,848 |

表 3-3 青森県内の総源泉数

| 所轄保健 所名 | 市 町 村 数 | 温 泉 地 数 | 源泉総数 (A+B) | 利用源泉数 (A) | | 未利用源泉数 (B) | | 温度別源泉数 | | | | 湧出量L/分 | |
|----------------|------------|------------|---------------|--------------|-----|---------------|-----|-----------|----------------|-----------|-------------|--------|--------|
| | | | | 自噴 | 動力 | 自噴 | 動力 | 25℃未 満 | 25℃以上 42℃未満 | 42℃以 上 | 水蒸気及 びガス | 自噴 | 動力 |
| | | | | | | | | | | | | | |
| 東地方 (青森) | 5 | 56 | 231 | 17 | 85 | 14 | 115 | 4 | 44 | 183 | 0 | 3408 | 15862 |
| 中南地域 (弘前) | 8 | 204 | 437 | 44 | 211 | 118 | 64 | 8 | 78 | 351 | 0 | 7620 | 48879 |
| 三八地域 (八戸) | 7 | 49 | 56 | 4 | 46 | 0 | 6 | 11 | 36 | 9 | 0 | 380 | 16659 |
| 西北地方 (五所川原) | 6 | 81 | 111 | 4 | 78 | 6 | 23 | 5 | 30 | 76 | 0 | 325 | 14978 |
| 上北地方 (上十三) | 8 | 105 | 142 | 28 | 72 | 9 | 33 | 8 | 37 | 97 | 0 | 4938 | 45457 |
| 下北地域 (むつ) | 5 | 27 | 61 | 13 | 21 | 18 | 9 | 1 | 14 | 46 | 0 | 1148 | 4836 |
| 計 | 39 | 522 | 1038 | 110 | 513 | 165 | 250 | 37 | 239 | 762 | 0 | 17819 | 146671 |

3.2.3. 中高温熱水利用域

青森県の既存地熱調査位置図を図3-9に示し、既存地熱調査一覧表を表3-4に示す。青森県には八甲田山などの第四紀火山（新しい時代の火山）が分布し、それらの周辺に有望な地熱資源が分布している。青森県の第四紀火山は北から、むつ燧岳、恐山、八甲田山、岩木山がある。これら火山の周辺では国による調査が実施されてきた。これまでに、青森県ではNEDO技術開発機構などによる調査として、全国地熱基礎調査、地熱開発精密調査、地熱開発促進調査、全国地熱資源総合調査が実施されている。対象地域は下北地域、八甲田地域、沖浦地域、岩木山地域である。これらの調査では坑井調査が行われ、地下の温度が確認されている。200℃以上の高温が確認された地域は下北地域（229℃）、八甲田地域（236℃）、150℃以上の温度が確認された地域は沖浦（167℃）である。なお、岩木山地域では坑井調査は実施されていないため、地下温度は不明である。

産業技術総合研究所では全国地熱基礎調査当時から地熱開発に係る基礎的な調査を実施しており、その結果は金原・阪口（1989）などによりとりまとめられている。さらにその後の調査資料により青森県地熱資源図（高橋ほか、2001）が編集されている。高橋ほか（2001）によれば、第四紀火山に関連した地熱資源賦存地域として、下風呂地域、恐山地域、八甲田地域、岩木地域が抽出されており、その周辺にも多数の地熱資源賦存地域が分布している。

表 3-4 青森県における既往地熱調査一覧表

| 地域 | 調査名 | 実施機関 | 調査年度 | 調査内容 |
|-----|---------------------|----------------------------|-----------|--|
| 下北 | 全国地熱基礎調査 | 工業技術院 (現産業技術総合研究所) | 昭和50年度 | 放熱量調査、変質帯調査、電気探査 |
| | 地熱開発精密調査 | 資源エネルギー庁 | 昭和51年度 | 坑井調査(最高温度:117℃, 51-SK-2, 深度703m) |
| | 地熱開発促進調査 | 新エネルギー産業技術総合開発機構 (NEDO) | 昭和58-59年度 | 地質構造調査、電気探査、環境影響調査 坑井調査(最高温度:229℃, N59-SK-6, 深度1702m) 噴気試験(N59-SK-6, 蒸気3.4t/熱水9.3t) |
| | 全国地熱基礎調査 | 工業技術院 (現産業技術総合研究所) | 昭和49年度 | 放熱量調査、変質帯調査、地化学調査、電気探査 |
| 八甲田 | 地熱開発精密調査 | 資源エネルギー庁 | 昭和50年度 | 坑井調査(最高温度:88℃, 50-HK-2, 深度500m) |
| | 地熱開発促進調査 (八甲田西部) | 新エネルギー産業技術総合開発機構 (NEDO) | 平成元-3年度 | 地質・変質帯調査、地化学調査、電磁探査、電気探査 坑井調査(最高温度:236℃, N2-HD-6, 深度1560m) 噴気試験(N3-HD-7, 蒸気1.3t/熱水12.6t) |
| | 全国地熱資源総合調査 | 新エネルギー産業技術総合開発機構 (NEDO) | 昭和59-61年度 | 火山岩分布年代調査、精密重力調査、流体地化学調査、 比抵抗調査、放熱量調査、 熱流量坑調査(170℃, HK-61-1, 深度1000m) |
| | 地熱開発基礎調査 | 資源エネルギー庁 | 昭和52-53年度 | 変質帯調査、地化学調査、 坑井調査(最高温度:97℃, 53-OU-1, 深度700m) |
| 沖浦 | 地熱開発促進調査 | 新エネルギー産業技術総合開発機構 (NEDO) | 昭和55-56年度 | 地質構造調査、電気探査、環境影響調査 坑井調査(最高温度:167℃, N57-OU-8, 深度1500m) 噴気試験(N56-OU-4, 蒸気0.6t/熱水11.9t) |
| | 地熱開発基礎調査 | 工業技術院 (現産業技術総合研究所) | 昭和54年度 | 変質帯調査、地化学調査 |

3. 3. エネルギー需要の動向

表 3-5 と表 3-6 に全国と青森県の最終エネルギー消費構造を示す。表 3-5 より全国の消費構造と比較すると、青森県は産業部門の構成比が低く、その分、民生部門の構成が高くなっている。

本県のエネルギー消費量は 197PJ と全国エネルギー消費量の約 1.3% を占める。人口一人当たりエネルギー消費量は、全国平均では年間一人あたり 121GJ であるのに対し、本県では 138GJ であり、全国平均と比較して約 13% 高くなっている。

表 3-6 に示すとおり、本県のエネルギー消費構造は、八戸地域の工業利用を中心とする石炭の割合が高く、電力の割合が低くなっている。また、電力の占める割合が低く、石油の割合が高い原因としては、寒冷地であるために暖房用の灯油需要が全国平均と比較して高い、ということが考えられる。

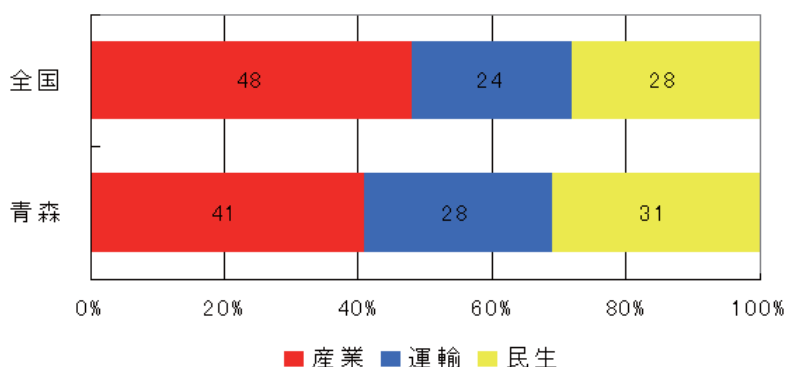


表 3-5 全国と青森県の最終エネルギー消費構造（分野別）
（青森県エネルギー産業クラスター形成調査報告書、2006）

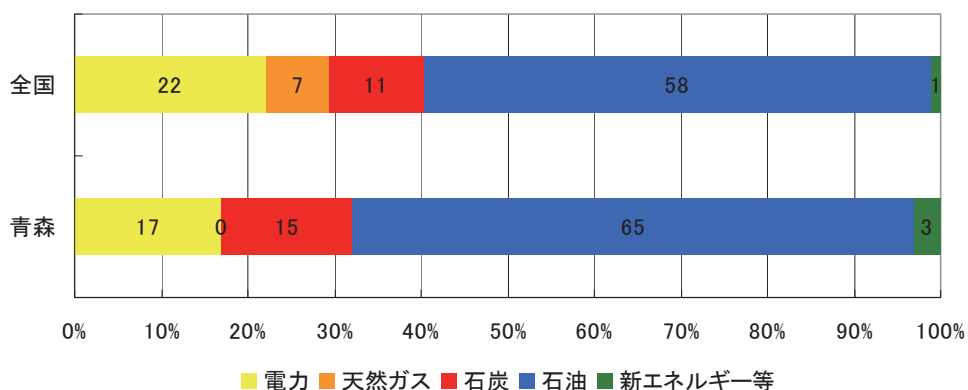


表 3-6 全国と青森県の最終エネルギー消費構造
（青森県エネルギー産業クラスター形成調査報告書、2006）

3. 4. 地熱資源の活用状況

3.4.1. 地中熱利用域

地中熱利用域に関する本県での活用状況は、融雪システムを中心に存在する。その一部を用途ごとに紹介する。

1) 融雪利用の例

青森県における地中熱利用融雪システム導入実績の大多数は、産業技術総合研究所の盛田博士が会長を務めるガイアエネルギー研究会（表 3-7 の施工実績参照）のガイア融雪システム（図 3-10 参照）と国土交通省東北地方整備局青森河川国道事務所（図 3-11 参照）によるものである。青森県内におけるガイア融雪システムの施工実績は、2003 年 12 月完成のものでトータル面積 2、557m²に至る。また、国土交通省東北地方整備局青森河川国道事務所による冬季バリアフリー計画路線図の全融雪面積 13、664m²のうち 3、978m²（約 30%）が地中熱利用ヒートポンプシステムによるものである。

表 3-7 ガイアエネルギー研究会の施工実績

ガイア融雪システムホームページより

| No. | 地域 | 設備の種類 | 実施主体 | 呼称 | 面積 (m ²) | 完成年月 |
|-----|--------|--------|---------------|------|----------------------|---------|
| 1 | 岩手県二戸市 | 融雪(車道) | 二戸市 | | 266 | 1995.12 |
| 2 | 青森県深浦町 | 融雪(車道) | 青森県西地方農林水産事務所 | | 150 | 1999.12 |
| 3 | 青森県青森市 | 融雪(歩道) | 国土交通省東北地方整備局 | 西側設備 | 334 | 2002. 5 |
| 4 | 青森県青森市 | 融雪(歩道) | 国土交通省東北地方整備局 | 東側設備 | 325 | 2002. 5 |
| 5 | 青森県黒石市 | 融雪(車道) | 青森県弘前県土整備事務所 | 下側設備 | 793 | 2003. 3 |
| 6 | 青森県黒石市 | 融雪(車道) | 青森県弘前県土整備事務所 | 上側設備 | 795 | 2003. 3 |
| 7 | 青森県森田村 | 融雪(車道) | 青森県西地方農林水産事務所 | | 160 | 2003.12 |

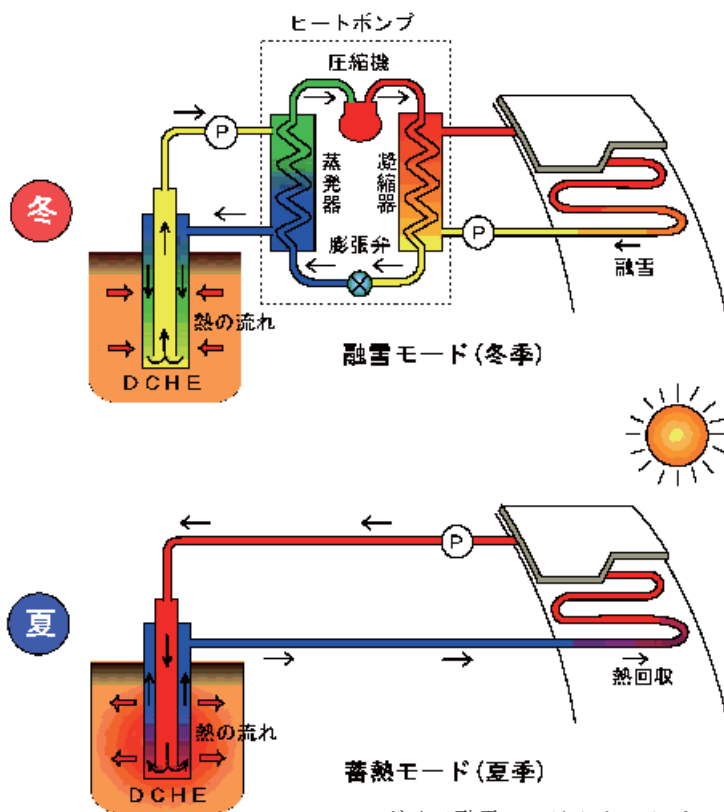


図 3-10 ガイア融雪システム概念図



図 3-11 冬季バリアフリー計画路線図

最近では弘前市内の歩道にも導入されており、第2章2節の技術動向に示した融雪専用の小型地中熱源ヒートポンプユニット5台(各工区に20HPユニットを1台)により、総面積約1,600m²の融雪を行っている。

え

他にも弘前大学の南條教授により、同大学敷地内にヒートポンプを使用しない地中熱利用融雪システムが試験的に導入されている。試験施設および結果の概要を以下に示す。

① システム概要

地中熱交換井深度50mで地中熱交換器は15mmの銅パイプを使用したUチューブ(一般的には高密度ポリエチレンパイプ)が2本挿入設置されており、戻り側の銅パイプの地表下10m程度は断熱材で保護されている。

② 融雪面の構造

融雪面積は約20m²、融雪面は熱伝導率を改善した特殊なコンクリートを使用し、表面には傾斜を付け更に溝を付けて融雪後の水が溜まらないような構造になっている。

③ 融雪状況

2005年1月上旬に試験を実施した結果、融雪量は340kg/日、単位面積当たりでは31kg/日/m²、使用した熱量は121W/m²であった。

④ 結論

上記の融雪試験の結果、融雪に時間は掛かるものの融雪することができることを確認した。この融雪システムは15mmの銅パイプ製のUチューブであること、更に、融雪面にも工夫されていることに留意する必要があるが、弘前市内のような豪雪地帯でも、地下水の熱移流と思われる効果を有効利用することにより、ヒートポンプを使用しない地中熱利用融雪が可能(融雪状況は図3-12を参照)と考えられる。



図 3-12 弘前大学敷地内における融雪状況

2) 冷暖房・融雪利用の例

弘前市の“まちなか情報センター（図 3-13 参照）”では、建物内の冷暖房（面積 329m^2 ）と隣接する歩道融雪（面積 360m^2 ）に地中熱利用システムを導入している。ヒートポンプは、冷暖房用（暖房能力 33.8kW ）と融雪用（融雪能力 74.8kW ）に各 1 台設置しており、地中熱交換井は深度 $90\text{m} \times 16$ 本を共有している。2005 年度運転実績は、石上ほか（2007）より、冷房 COP (Coefficient of Performance、成績係数) で 5.93、暖房 COP で 3.82、融雪 COP で 6.92 と高効率な値を確認した。なお、在来案（冷房：空冷チラー＋暖房：灯油ボイラー＋融雪：電熱線方式）に対するランニングコスト削減比率は図 3-14 より 48%であり、二酸化炭素排出削減比率は 65%である。



図 3-13 まちなか情報センター

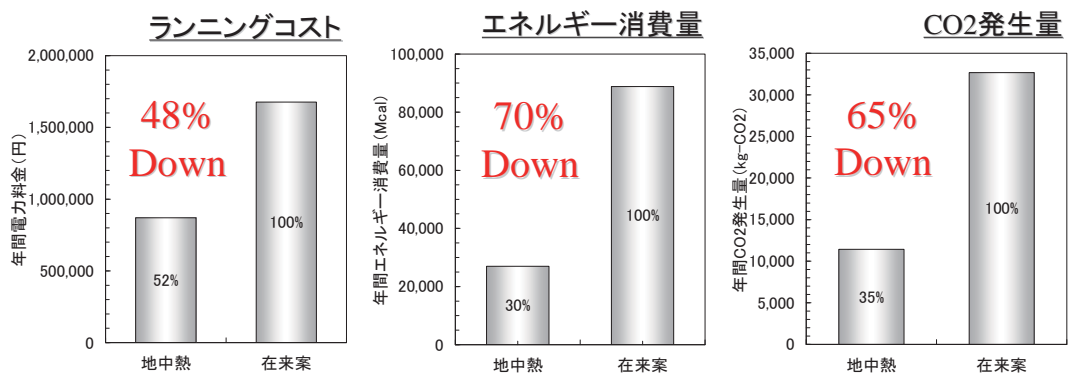


図 3-14 ランニングコスト・エネルギー諸費量・CO₂発生量比較

3) ハウス農業利用の例

青森県農林総合研究センターでは、「冬の農業」推進プロジェクトのより、地中熱と風力によるハウス栽培支援システム（図 3-15 参照）の導入をつがる市（旧木造町）に行った。施設概要は、ハウス床面積が 298.1m²、ハウス被覆方法が二層ポリエチレンフィルム、地中熱交換井が 90m×8 本、ヒートポンプ加熱能力が 49.0kW であり、暖房方式は空気加温と地中加温の双方の回路を備えている。なお、本案件は環境省による補助（補助率 1/2）を受け実施したものである。実績値での灯油暖房との比較結果は、渡邊・葛西（2006）より、ランニングコストで 24%削減、二酸化炭素排出量で 43%削減であった。



図 3-15 地中熱利用システムによるハウス栽培状況

3.4.2. 低温熱水利用域

低温熱水利用域として、温泉熱の農業への利用例 4 つを示す。

① 温泉熱を利用した葉菜類の栽培（弘前市）

◆ 作物：しゅんぎく、オータムポエム、サニーレタス、こまつな等

◆ 加温方法：30cm ごとに温水パイプ（かん水用ビニールホース）を地表配管

◆ 栽培体系：9～3月 葉菜類、2～6



月 野菜・花き苗

- ◆ 水温・泉質：51℃、弱ナトリウム塩泉
- ◆ 源泉からの距離：500m（1～2℃低下）
- ◆ 目標温度：10℃
- ◆ 暖房期間：12月中旬から

以上、あおもりの「冬の農業」中南地方の取組みホームページより

② 温泉熱を利用した野菜、花き、山菜栽培（平川市（旧碓ヶ関村））

- ◆ 作物：なたね菜、しゅんぎく、パンジー、葉わさび等
- ◆ 加温方法：温水パイプを地表に這わせ地表加温
- ◆ 栽培体系：10～3月 葉菜類、花き、山菜
- ◆ 水温・泉質：41.5℃、単純温泉弱アルカリ性
- ◆ 源泉からの距離：50m



以上、あおもりの「冬の農業」中南地方の取組みホームページより

③ 温泉熱を利用したトマト栽培（板柳町）

- ◆ 組織の概要：組織名 グリーンファーム
- ◆ 取り組みの動機：1987年頃、主力品目のりんごの単価が落ち込んだことが水耕栽培を取り組むきっかけとなった。水耕栽培を行うには、ハウスが必要であり、冬の雪対策のことを考えた結果、石油暖房より温泉による暖房の方が初期投資はかかるが、長い目で見れば除雪の心配が無く有利と考え取り組んだ。
- ◆ 栽培管理上の特徴：ロックウール栽培であるため、水管理および肥培管理については比較的管理が楽である。温泉熱であるため、その廃湯を活用してハウスの周りの除雪に活用している。
- ◆ 取り組みのメリット：初期投資は大きかったが、暖房と融雪にかかる経費が安価である。融雪に関しては、機械による除雪と違い労力がかからない。



以上、あおもりの「冬の農業」西地方の取組みホームページより

④ 温泉もやし（大鰐町）

温泉熱を利用して育てられたもやしである。その始まりはとても古く、津軽三代藩主・信義が大鰐に湯治するときには、必ず献上したとされている。ローカロリーで栄養価の高いもやしは健康指向の現代では特に重宝されている。それに加えて大鰐もやしは歯触りもよく、味の良さ、品質の高さで多くの人に好まれている。いつも変わることなくわき出る温泉の熱によって大切に育まれる温泉もやしは、わが町大鰐の自慢の味である。



以上、大鰐町ホームページより

3.4.3. 中高温熱水利用域

青森県内では、図 3-16 に示すとおり、高温熱水（蒸気）利用域（従来型地熱発電）、中高温熱水利用域（バイナリー発電）に関する地熱資源の活用は行われていない。

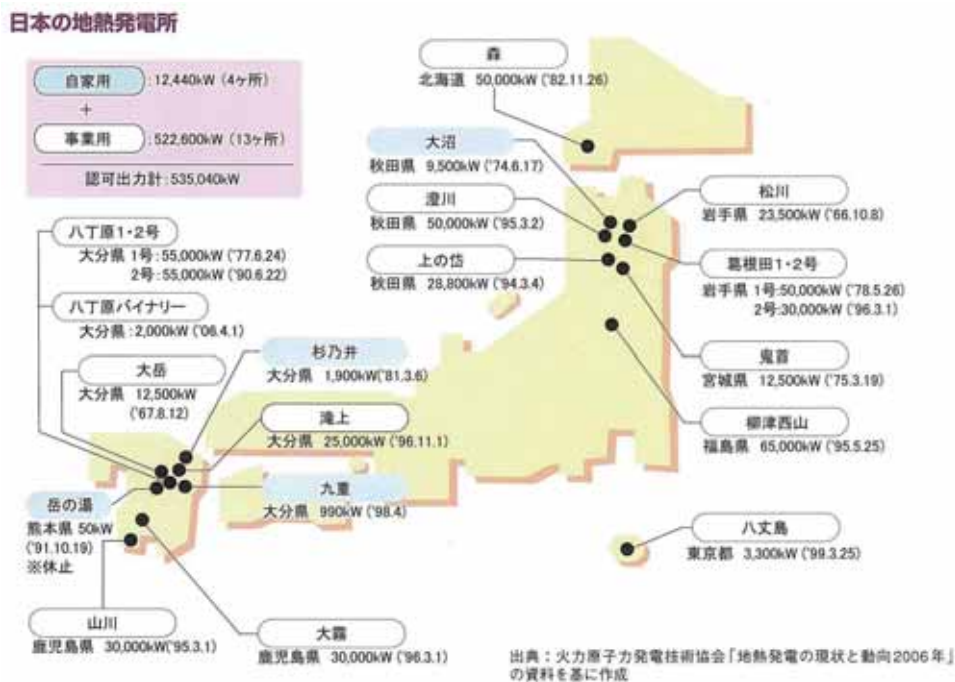


図 3-16 日本の地熱発電所（財団法人新エネルギー財団、2007）

第4章 青森県における地熱資源利用事業モデルの検討

前章までに、我が国の地熱資源利用をめぐる動向と、青森県の地域特性とにつき、調査結果を述べた。今後、県内において地熱資源の利用を促進していくためには、当該結果を踏まえた青森県内での地熱資源利用の事業モデルを構築し、各モデルについて具体的な事業の実現を進め、県内他地域への波及を図っていく必要がある。

このため、本章では、①地中熱利用域、②低温熱水利用域、③中高温熱水利用域の各地熱資源について、利用事業モデルの検討を行った。構築した各事業モデルについて、概要、事業成立性評価（評価および課題）の順に示す。

なお、この事業成立性評価の結果は、本ビジョンに示す条件下で検討・計算された結果であることに注意が必要である。

4. 1. 地中熱利用域

(1) 事業モデルの選定

地中熱利用の最大の特徴は、低温熱水利用や中高温熱水利用のような地熱貯留層を必要とせず、全国どこでも利用可能なことである。ただし、地中熱利用可能量は、地域（地下条件）により異なる。地中熱利用に有利な地域は例えば以下である。

- ① 地層の熱伝導率が高いこと
- ② 寒冷地などで融雪や暖房をメインに利用する場合は、地温が高いこと
- ③ 地下水流動が速いこと（地下水の熱移流効果が期待できること）

上記より、地中熱利用に有利な地域を予め把握することができれば、有用なデータとなる。このような地下熱物性値の推定を目的とした試験に、サーマルレスポンス試験がある。本試験の実施により主に地層の有効熱伝導率（地下水流動が存在する場合において、その熱移流効果の影響を考慮した見かけ熱伝導率のこと）が明らかとなるが、青森県内における実施結果例として、以下に推定された地層の有効熱伝導率値を示す。

I) 青森市内：1.25W/(m・K)、深度 151.4m、盛田ほか（2003）より

II) 弘前市内①：2.25W/(m・K)、深度 90m

III) 弘前市内②：3.25W/(m・K)、深度 90m

IV) 中津軽郡西目屋村：4.00W/(m・K)、深度 90m

II)～IV)：三菱マテリアル資源開発株式会社実測値

先述の第3章2節に明記のとおり、産業技術総合研究所による地下水調査の結果では、青森、弘前、黒石付近では、場所によっては地下水の熱移流により地層の有効熱伝導率向上の可能性を示した。上記の実測の地層の有効熱伝導率から判断すると、弘前市内でその影響が顕著に表れていると考えられる。なお、実施設計の際には、サーマルレスポンス試験により推定された地下熱物性値を基に、二次側稼動条件に基づくシミュレーションを実施し、適正規模の地中熱源選定を行うことが地中熱利用システムの採算性向上に極めて重要である。

また、地中熱源のみならず、建築的手法（高断熱、高气密、日射遮蔽等）による二次側熱負荷の軽減（設備容量の軽減に繋がりイニシャルコストが低減）や高効率ヒートポンプの使用（COP「成績係数」の向上によりランニングコストが低減）と組み合わせることがより重要となる。

以上の理論的背景を念頭に、以下事業を本ビジョンにおける地中熱利用域モデルとして構築する。

① 戸建住宅への地中熱利用冷暖房システム

どこでも利用可能との視点より、市場動向において国内の導入数および利用熱量が最も大きかった「住宅」について、事業モデルとして構築する。

② 公共施設への地中熱利用冷暖房システム

公共施設へ導入することで、広く地域住民の方々へPRし、普及・啓発活動の一環とすることが目的である。

③ 道路および歩道への地中熱利用融雪システム

県内では、既に多数の導入実績があるが、豪雪地帯である青森県には必要な事業モデルと位置付けられる。

④ ハウス農業への地中熱利用暖房システム

県内の産業構造において農業の比率が著しく高く、冬のハウス農業には灯油焚きのボイラーが多数使用されていることを考慮すると、石油から電気（地中熱利用ヒートポンプ）へシフトすることは、CO₂排出量の削減に大いに貢献するものと考えられる。

⑤ ハウス農業への地下水熱利用暖房システム

ハウス農業施設では、散水等により水を大量に消費するため、水井戸を保有している場合がある。このような施設では、地下水を直接汲み上げてヒートポンプの熱源に活用することが可能であり、熱と水のカスケード利用が可

能となる。以上の既存の水井戸を利用した地下水汲み上げによるハウス農業への暖房システムを、事業モデルとして構築する。

(2) 事業モデル構築の条件

事業成立性を評価するに当たり、地中熱利用システムを構築する際の種々の条件を以下のように設定して評価した。ただし、モデルごとにこれらの条件は明示するが、基本的な条件設定の方針をここに示す。また、モデル地域とし選定した地域は事業成立性評価の中に記載した。

(2)-1 地中熱交換方式と地中熱交換井の設置費

地中熱利用システムで必ず必要な地中熱交換器はUチューブ方式とする。地中熱交換器には同軸二重管方式もあるが、一般的に採用されているUチューブ方式を基本とした。また、地中熱交換器を設置する方法はボーリングにより設置する方法（ボアホール方式）を基本とした。また、地中熱交換器（地中熱交換井）の設置費用は、同じ場所で一度に設置する地中熱交換井の量や設置する場所の立地条件（地上の環境条件）や地下条件（地層条件）等により8,000円/m～20,000円/m程度の幅で変化すると想定されるが、この事業成立性評価では10,000円/m（地中熱関連の講演会や論文等で、近年よく使用されている単価）を採用した。

温泉や地下水を直接熱源として利用する場合の熱交換器はプレート式熱交換器が一般的であるが、温泉排湯等を利用する場合はスケール問題を考慮し、ポリエチレンパイプ製の熱交換器を想定した。

(2)-2 地中熱交換量と運転時間等の設定

地中熱交換量は地中熱利用システムの設計に当たり最も重要な条件であり、実施設計に当ってはTRT（サーマルレスポンス試験）により地層の有効熱伝導率を評価し、更に地中熱源ヒートポンプシステムの運転制御方式や運転時間等を設定して決定すべきものである。しかしながら、弘前市や青森市内で過去にTRTを実施した地域では有効熱伝導率が把握されているが、殆どの地域では実際に測定されていないことから、地中熱交換量は経験値として地下条件と運転条件等をベースにモデルごとに値を想定した。また、地中熱源ヒートポンプシステムの運転時間等についても経験値や参考書図書より設定した。

ただし、産業技術総合研究所が、青森県内の弘前市地域、青森市地域、八戸市地域の三地域に関して地下水の状況を調査した結果と、青森市および弘前市でのサーマルレスポンス試験実績値より、弘前市地域が青森市地域に比べ地下水の熱移流による地中熱利用環境の優位性が想定される。よって、これらの地域性を表現する目的で、各地域の地中熱交換量に差を設けた。この差の根拠となる数値は明確ではないため、実際の事業を考慮する場合は、先述のとおり地中熱源ヒートポンプシステムの制御方法、運転時間の設定と合わせて TRT による地層の有効熱伝導率の評価をしてから実施設計をすることが必要である。

(2)-3 地中熱源ヒートポンプユニット等の費用

地中熱源ヒートポンプユニットは、ほとんどのメーカーが受注生産品のため一般標準品としての定価表示がなく、オープン価格として種々の販売条件により変動するため費用の想定が難しい実態にある。このような背景であるが事業成立性評価で採用した金額はほぼ入手可能な金額として想定した。また、地中熱交換井からヒートポンプまでの配管費やヒートポンプ設置に係る電気工事費等の費用に付いても概算値として想定した。

(2)-4 補助金システム

ここでは地中熱源ヒートポンプシステムを設置する場合に適用される国の補助金システムを紹介する。補助金は国土交通省、経済産業省、環境省、農林水産省等が実施しているが、地中熱源ヒートポンプを設置した場合に補助金をつけると明確に示されている補助事業は少なく、省エネルギー、新エネルギー、再生可能エネルギー、温度差エネルギーと言ったキーワードの中から地中熱源ヒートポンプシステムに適応可能な補助金事業として選択する必要があるため、事業計画を作成した段階で各補助事業の適用性を検討することが重要である。ここに示す事業成立性評価の中では、補助金が適用された場合の評価も記載した。ただし、補助金は民間対象から地方公共団体対象まで種々あるので、実際に利用する場合は十分に調査し、補助金対象事業として可能か確認する必要がある。

地中熱源ヒートポンプシステムが対象となりそうな補助金事業に関する資料を付録として添付する。

4.1.1. 戸建住宅への地中熱利用冷暖房システム

(1) 事業モデルの概要

事業モデルは図 4-1 に示すとおりで、地中熱源ヒートポンプユニットは冷暖房兼用タイプの最大出力 10kW を選定した。このヒートポンプユニットは、北海道地区の戸建住宅へ普及している機種であることから、今後青森県でも採用され易いと想定し本モデルに採用した。戸建住宅への適用は、インシャルコストが高い点から早急な普及は期待し難い点も想定されるが、CO₂削減に向けた補助事業の拡大や新たな政策等の環境整備により普及促進も期待される。なお、給湯には近年導入が増えているエコキュートを想定し、在来案を灯油ボイラーとした。試算は、暖房のみの場合と給湯を加えた場合とに分割して行っている。

概算設計条件を表 4-1 に示す。想定した床面積は 130m² であり、次世代省エネルギー基準を満たす熱損失係数 (Q 値) と設計温度条件より暖房最大熱負荷は 7.4kW と算出され、選定した地中熱源融雪ヒートポンプユニットの最大出力 10kW は設計熱負荷を十分に満たしている。冷房最大熱負荷は、極めて小さいことから本ビジョンにおける試算には含めないこととした。よって、ヒートポンプ能力の熱収支より計算される暖房時の必要地中熱交換量は 7.3kW であり、単位深度あたり地中熱交換量を 65W/m と想定 (参考値を巻末資料に示す) した場合、地中熱交換井深度は 110m となる。給湯は、3~4 人家族を想定し、給湯タンク容量で 370L、給湯能力 6kW、COP 3.0 を想定した。在来案となる灯油ボイラーは、暖房能力および給湯能力が地中熱ヒートポンプおよびエコキュート能力と等値とした。

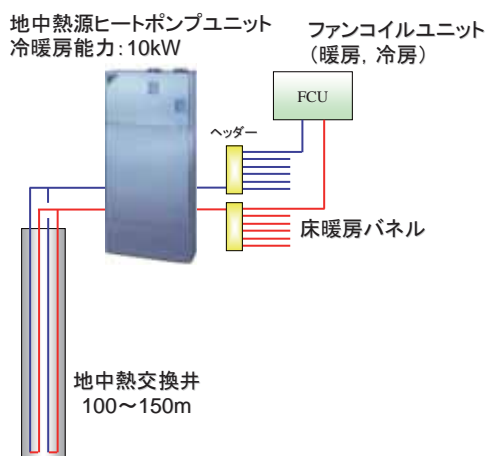


図 4-1 戸建住宅での冷暖房システム概念図

表 4-1 戸建住宅での概算設計条件

| 項目 | 単位 | 数値 | | | | 備考 |
|-----------------|---------------------|------|--------|--------|--------|---------------|
| | | 地中熱 | 地中熱 | 灯油ボイラー | 灯油ボイラー | |
| 暖房給湯 | | — | エコキュート | — | 灯油ボイラー | |
| ◆概算設計条件 | | | | | | |
| 熱損失係数(Q値) | W/m ² /K | 1.9 | 1.9 | — | — | 次世代省エネルギー基準より |
| 床面積 | m ² | 130 | 130 | — | — | |
| 暖房時設定室温 | °C | 20 | 20 | — | — | |
| 冷房時設定室温 | °C | 28 | 28 | — | — | |
| 設計用最低外気温 | °C | -10 | -10 | — | — | |
| 設計用最高外気温 | °C | 32 | 32 | — | — | |
| 内部発熱 | kW | 0.7 | 0.7 | — | — | 冷房時のみ考慮 |
| 暖房最大熱負荷 | kW | 7.4 | 7.4 | — | — | |
| 冷房最大熱負荷 | kW | 1.7 | 1.7 | — | — | |
| 熱源機器暖房能力(最大値) | kW | 10.0 | 10.0 | 10.0 | 10.0 | カタログ値 |
| “ 冷房能力(最大値) | kW | 10.0 | 10.0 | — | — | “ |
| “ 暖房消費電力 | kW | 2.7 | 2.7 | — | — | “ |
| “ 暖房COP | — | 3.7 | 3.7 | 0.8 | 0.8 | “ |
| 必要地中熱交換量 | kW | 7.3 | 7.3 | — | — | |
| 設計単位深度あたり地中熱交換量 | W/m | 65 | 65 | — | — | 想定値 |
| 必要地中熱交換井有効長さ | m | 110 | 110 | — | — | |
| 給湯機器加熱能力 | kW | — | 6.0 | — | 6.0 | |
| “ 消費電力 | kW | — | 2.0 | — | — | |
| “ COP | — | — | 3.0 | — | 0.8 | |
| 給湯タンク容量 | L | — | 370 | — | — | 3~4人家族を想定 |

(2) 事業モデルの評価および課題

戸建住宅への評価結果を表 4-2 に、トータルコスト比較を図 4-2 に示す。すべてのケースにおいて導入コストは、無担保の住宅ローン（返済期間 10 年）にて試算を行い、本事業モデルではオール電化住宅を想定し、金利を 0.2% 優遇とした。また、本事業モデルでのランニングコスト試算では、オール電化住宅を想定のため、東北電力契約メニューにおける“やりくりナイト 8”とした。機械設備の更新は、灯油ボイラーのみ 10 年目に 1 度更新するものとし、20 年後のトータルコスト（表 4-2 における総返済額と機械設備更新費と 20 年間のランニングコストの合計）で比較した。その結果、暖房のみの場合では、20 年後のトータルコストで灯油ボイラーに比べ地中熱が 412 千円ほど高くなっている。しかし、エコキュートと組み合わせた場合は夜間電力利用により電力量料金単価が安くなり、20 年後のトータルコストでは在来案の灯油ボイラーに比べ 804 千円ほど安くなっている。本試算結果より、東北電力

契約メニューの関係上、夜間電力を使用できる給湯（エコキュート）と組み合わせることが重要と考えられる。なお、NEDO 技術開発機構による「住宅・建築物高効率エネルギーシステム導入促進事業」の補助金 1/3 が適用された場合は、20 年後のトータルコストが更に安くなり、暖房のみでも灯油ボイラーに比べ地中熱が 678 千円ほど安くなる。また、灯油ボイラーによる暖房の場合、ボイラーの設置場所が広く必要となり、冷房時には別途エアコンが必要になるなど、コスト以外での課題も多い。

※ 注記

北海道特に札幌近郊では地中熱源ヒートポンプの設置が最近普及しているが、この要因は、北海道電力の電力料金の低価格性（融雪電力 B による契約）や電気式ヒートポンプ温水暖房システムの普及促進制度による独自の補助システム（65 万円程度）、戸建住宅の気密・断熱性の高い構造、冬季間の全館暖房による大量エネルギーの必要性等からランニングコストが安い地中熱源ヒートポンプの採用が促進されているものと推察される。戸建住宅は住宅構造や生活方法の違い、寒暖に対する個人差等もあるのでこのモデルは 10kW の地中熱源ヒートポンプを設置する場合の概略費用として評価したものであり、このヒートポンプ容量で青森県のすべての戸建住宅の暖房が十分という評価ではないことに注意する必要がある。なお、融雪電力 B の電力量料金単価は、やりくりナイト 8 における夜間時間帯の電力料金単価とほぼ同じ単価であり、仮に東北地方においても北海道電力と同様に、地中熱源ヒートポンプの暖房に対し融雪電力 B が適用された場合は、ランニングコストが更に安くなり補助金 1/3 なしでも十分に優位性が発揮できるシステムと考えられる。

表 4-2 戸建住宅におけるコストおよび CO₂ 発生量比較

| 項目 | 単位 | 数値 | | | | 備考 |
|----------------------------|--------------------|--|---------------|-------------|------------------|-----------|
| | | 地中熱 — | 地中熱 エコキュート | 灯油ボイラー — | 灯油ボイラー 灯油ボイラー | |
| 暖房 給湯 | | | | | | |
| ◆概算イニシャルコスト | | | | | | |
| 地中熱交換井設置工事 | 円 | 1,100,000 | 1,100,000 | — | — | 10,000円/m |
| 地中熱源ヒートポンプユニット | 円 | 700,000 | 700,000 | — | — | |
| エコキュート | 円 | — | 700,000 | — | — | 工事費含む |
| 暖房用灯油ボイラー | 円 | — | — | 500,000 | 500,000 | 油タンク類含む |
| 給湯用灯油ボイラー | 円 | — | — | — | 350,000 | 工事費含む |
| 室内放熱器と設備工事 | 円 | 800,000 | 800,000 | 600,000 | 600,000 | |
| 諸経費 | 円 | 130,000 | 165,000 | 55,000 | 72,500 | 試運転調整等 |
| 合計 | 円 | 2,730,000 | 3,465,000 | 1,155,000 | 1,522,500 | (借入額) |
| ◆概算年間ランニングコスト | | | | | | |
| 設計暖房時間(全負荷相当換算値) | h | 1,350 | 1,350 | 1,350 | 1,350 | 想定値 |
| 設計給湯時間 | h | 1,205 | 1,205 | 1,205 | 1,205 | 〃 |
| 契約電力メニュー | — | やりくりナイト8 | やりくりナイト8 | | | |
| 電力量料金単価 | | | | | | |
| 夜間時間帯(23:00-07:00) | 円/kWh | 7.18 | 7.18 | — | — | |
| 昼間時間帯(07:00-23:00) | 円/kWh | 25.52 | 25.52 | — | — | |
| 灯油料金単価 | 円/L | — | — | 90 | 90 | |
| 灯油消費量 | L | — | — | 1,761 | 2,704 | |
| 電力量料金 | | | | | | |
| 夜間時間帯(23:00-07:00) | 円 | — | 17,297 | — | — | |
| 昼間時間帯(07:00-23:00) | 円 | 105,423 | 105,423 | — | — | |
| 灯油燃料代 | 円 | — | — | 158,510 | 243,366 | |
| 年間ランニングコスト | 円 | 105,423 | 122,720 | 158,510 | 243,366 | |
| ◆年間CO ₂ 発生量 | kg-CO ₂ | 1,562 | 2,472 | 4,421 | 6,787 | |
| ◆20年後のトータルコスト | | | | | | |
| 借入額 | 円 | 2,730,000 | 3,465,000 | 1,155,000 | 1,522,500 | |
| 借入利率 | % | 3.7 | 3.7 | 3.9 | 3.9 | |
| 返済期間 | 年 | 10 | 10 | 10 | 10 | |
| 毎月の返済額 | 円 | 27,252 | 34,589 | 11,638 | 15,347 | |
| 年間返済額 | 円 | 327,024 | 415,068 | 139,656 | 184,164 | |
| 総返済額 | 円 | 3,270,240 | 4,150,680 | 1,396,560 | 1,841,640 | |
| 機械設備の更新 | 円 | — | — | 400,000 | 700,000 | |
| 20年間のランニングコスト | 円 | 2,108,462 | 2,454,395 | 3,170,206 | 4,867,323 | |
| トータルコスト | 円 | 5,378,702 | 6,605,075 | 4,966,766 | 7,408,963 | |
| ◆20年後のトータルコスト(補助金1/3ありの場合) | | 補助金: NEDO「住宅・建築物高効率エネルギーシステム導入促進事業」を想定 | | | | |
| 借入額 | 円 | 1,820,000 | 2,310,000 | 1,155,000 | 1,522,500 | |
| 借入利率 | % | 3.7 | 3.7 | 3.9 | 3.9 | |
| 返済期間 | 年 | 10 | 10 | 10 | 10 | |
| 毎月の返済額 | 円 | 18,168 | 23,059 | 11,638 | 15,347 | |
| 年間返済額 | 円 | 218,016 | 276,708 | 139,656 | 184,164 | |
| 総返済額 | 円 | 2,180,160 | 2,767,080 | 1,396,560 | 1,841,640 | |
| 機械設備の更新 | 円 | — | — | 400,000 | 700,000 | |
| 20年間のランニングコスト | 円 | 2,108,462 | 2,454,395 | 3,170,206 | 4,867,323 | |
| トータルコスト | 円 | 4,288,622 | 5,221,475 | 4,966,766 | 7,408,963 | |

注記) 電力量料金における基本料金は、本設備のみを対象とするものではないため、本試算には含めていない。

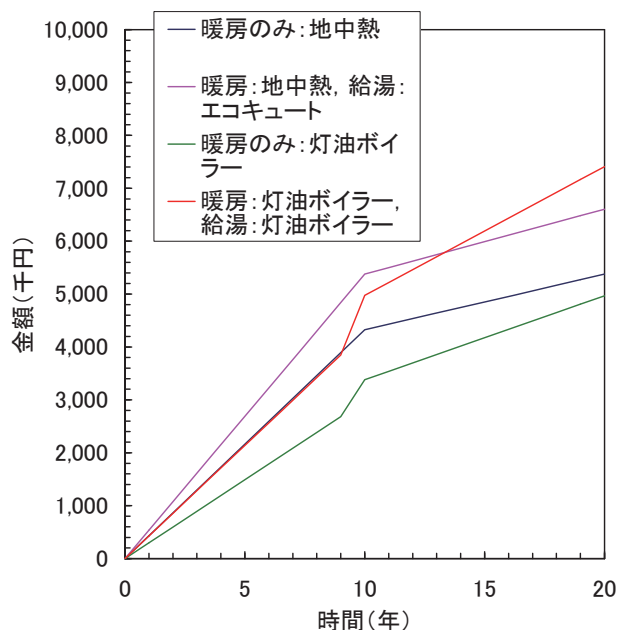


図 4-2 戸建住宅におけるトータルコスト比較（補助金なし）

4.1.2. 公共施設への地中熱利用冷暖房システム

(1) 事業モデルの概要

公共施設に設置することで地中熱利用冷暖房システムを住民に広く PR し、普及・啓発活動の一環として進める。事業モデルは図 4-3 に示すとおりで、冷暖房面積を約 920m² で想定し、暖房出力 112.5kW の地中熱源ヒートポンプを選定した。ただし、本ヒートポンプは、室外機と室内機を冷媒配管で接続し、冷媒から直接冷温風を作るタイプ（ビル用マルチ）を採用した。本ビルマルチタイプは、ヒートポンプで冷温水を造成し、この冷温水を室内機に送り冷温風を作るタイプよりも搬送動力が大幅に軽減されるため経済的となり、空気熱源ヒートポンプを中心に採用が促進されているシステムである。

なお、本事業モデルは、比較対象案として空気熱源のビル用マルチを想定し、それぞれの概算設計条件について、表 4-3 に示す。地中熱源ではヒートポンプ馬力数が 36HP 相当機種であるのに対し、空気熱源では外気温の低下により 50HP 相当機種となり、地中熱とすることで熱源機器容量を 28%削減できると考えられる。

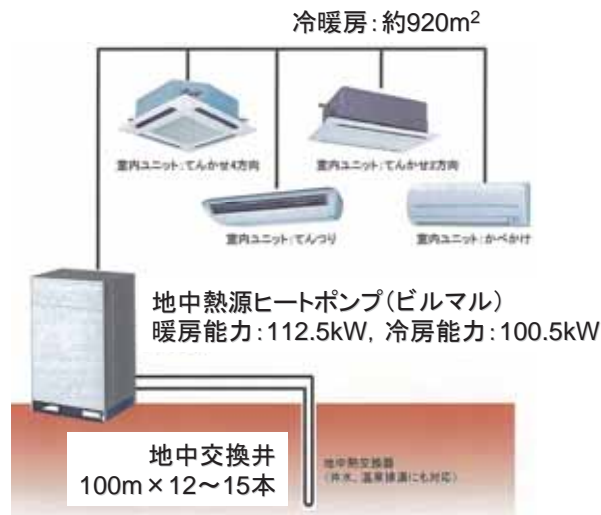


図 4-3 公共施設での冷暖房システム概念図

表 4-3 公共施設での概算設計条件

| 項目 | 単位 | 地中熱源 | 空気熱源 | 備考 |
|-------------------------|-----------------------|---------|---------|----------------------|
| ◆概算設計条件 | | | | |
| 暖房最大熱負荷(地域:東京, 建物用途:病院) | W/m ² | 95.3 | 95.3 | (社)日本地域冷暖房協会(1997)より |
| 冷房最大熱負荷(地域:東京, 建物用途:病院) | W/m ² | 104.7 | 104.7 | " |
| 暖房最大熱負荷地域補正係数(青森) | — | 1.29 | 1.29 | " |
| 冷房最大熱負荷地域補正係数(青森) | — | 0.88 | 0.88 | " |
| 暖房最大熱負荷(地域:青森, 建物用途:病院) | W/m ² | 122.9 | 122.9 | |
| 冷房最大熱負荷(地域:青森, 建物用途:病院) | W/m ² | 92.1 | 92.1 | |
| 暖房年間熱負荷(地域:東京, 建物用途:病院) | kWh/m ² /年 | 86 | 86 | (社)日本地域冷暖房協会(1997)より |
| 冷房年間熱負荷(地域:東京, 建物用途:病院) | kWh/m ² /年 | 93 | 93 | " |
| 暖房年間熱負荷地域補正係数(青森) | — | 1.4 | 1.4 | " |
| 冷房年間熱負荷地域補正係数(青森) | — | 0.7 | 0.7 | " |
| 暖房年間熱負荷(地域:青森, 建物用途:病院) | kWh/m ² /年 | 120 | 120 | |
| 冷房年間熱負荷(地域:青森, 建物用途:病院) | kWh/m ² /年 | 65 | 65 | |
| ヒートポンプ選定時外気温条件 | °C | — | -8.0 | |
| ヒートポンプ相当馬力 | HP | 36 | 50 | |
| " 暖房能力 | kW | 112.5 | 112.5 | カタログより |
| " 冷房能力 | kW | 100.5 | 100.5 | " |
| " 暖房消費電力 | kW | 23.6 | 45.0 | " |
| " 冷房消費電力 | kW | 18.5 | 30.5 | " |
| " 暖房COP | — | 4.76 | 2.50 | " |
| " 冷房COP | — | 5.44 | 3.30 | " |
| 熱源水循環ポンプ消費電力 | kW | 5.0 | — | |
| 想定冷暖房面積 | m ² | 920 | 920 | 暖房最大熱負荷にて想定 |
| 暖房年間熱負荷 | kWh/年 | 110,768 | 110,768 | |
| 冷房年間熱負荷 | kWh/年 | 59,892 | 59,892 | |
| 暖房全負荷運転相当時間 | h | 980 | 980 | |
| 冷房全負荷運転相当時間 | h | 707 | 707 | |
| 必要地中熱交換量 | kW | 88.9 | — | |
| 設計単位深度あたり地中熱交換量 | W/m | 70 | — | 想定値 |
| 必要地中熱交換井有効長さ | m | 1,270 | — | |

(2) 事業モデルの評価および課題

公共施設への地中熱利用冷暖房システムのイニシャルコスト、ランニングコスト、CO₂発生量等の試算結果を表 4-4 に、トータルコスト比較を図 4-4 に示す。表中のイニシャルコストでは、地中熱源方式と空気熱源方式で共通する部分（試運転調整費、電気計装工事、二次側設備工事）は含めていない。また、地中熱源については、ボアホール方式と基礎杭方式の 2 パターンに分割しイニシャルコストを示した。その結果、イニシャルコストは空気熱源方式に比べ 40%(基礎杭)～93%(ボアホール)増額するものの、ランニングコストでは 38%、CO₂発生量では 32%削減できており、15 年後のトータルコストでは基礎杭利用の場合で十分な優位性が確認された。ボアホール方式でも 30 年後のトータルコストでは、8,209 千円ほどの優位性が確認できた。なお、補助金を適用した場合は、より魅力的なトータルコストとなっている。

※ 注記 1

表 4-4 のビル用マルチ室外ユニット価格は、動力制御盤を含む定価であり、市場価格とは違うことに注意が必要である。一般的には空気熱源タイプが工場のラインによる大量生産、大量消費となっているため、定価ベースでは高くとも市場価格では相当安く購入できる場合が多い。逆に地中熱源タイプでは、完全受注生産で販売台数が極めて少ないため、市場価格が空気熱源タイプに比べ高いことも十分に考えられる。よって、このような市場の違いを考慮するために、本事業モデル構築の際には定価ベースでの比較を行っていることに注意が必要である。

また、表 4-4 中の基礎杭方式については、基礎杭工事は建築工事に含まれるものとし、本イニシャルコストには含めておらず、地中熱交換器の設置工事のみを対象とした概算値である。杭の方式や現場の状況、規模により大きく異なるるので注意が必要である。

※ 注記 2

表 4-4 におけるランニングコストは、水蓄熱槽あるいは氷蓄熱槽との組み合わせによる蓄熱式空調システムの導入により、深夜電力を利用した蓄熱調整契約によって、更にランニングコストが安くなる。

表 4-4 公共施設におけるコストおよび CO₂ 発生量比較

| 項目 | 単位 | 地中熱源 | | 空気熱源 | 備考 |
|--|---------|------------|------------|------------|--------------------|
| | | ポアホール | 基礎杭 | | |
| ◆概算イニシャルコスト(共通部分「試運転調整, 電気計装工事, 二次側以降設備工事」は含まない) | | | | | |
| 地中熱交換井設置工事 | 円 | 12,700,000 | 6,400,000 | — | |
| ビル用マルチ室外ユニット | 円 | 8,000,000 | 8,000,000 | 12,000,000 | 動力制御盤, メーカー試運転調整含む |
| 熱源水配管工事 | 円 | 2,400,000 | 2,400,000 | — | |
| 諸経費 | 円 | 2,310,000 | 1,680,000 | 1,200,000 | |
| 合計 | 円 | 25,410,000 | 18,480,000 | 13,200,000 | |
| | % | 193 | 140 | 100 | |
| ◆概算年間ランニングコスト | | | | | |
| 契約電力量 | kW | 31 | 31 | 54 | 想定値 |
| 暖房電力消費量 | kWh | 28,038 | 28,038 | 44,085 | |
| 冷房電力消費量 | kWh | 16,582 | 16,582 | 21,527 | |
| 契約電力メニュー | — | 業務用電力 | 業務用電力 | 業務用電力 | |
| 基本料金単価 | 円/kW | 1,585.50 | 1,585.50 | 1,585.50 | 東北電力約款より |
| 電力量料金単価(夏季 7/1-9/30) | 円/kWh | 12.45 | 12.45 | 12.45 | 〃 |
| 電力量料金単価(その他季 10/1-6/30) | 円/kWh | 11.31 | 11.31 | 11.31 | 〃 |
| 基本料金 | 円 | 589,806 | 589,806 | 1,027,404 | |
| 電力量料金(夏季) | 円 | 206,452 | 206,452 | 268,005 | |
| 電力量料金(その他季) | 円 | 317,108 | 317,108 | 498,597 | |
| 合計 | 円 | 1,113,366 | 1,113,366 | 1,794,006 | |
| | % | 62 | 62 | 100 | |
| ◆年間CO2発生量 | | | | | |
| 暖房CO2発生量 | ton-CO2 | 10.60 | 10.60 | 16.66 | 0.378kg-CO2/kWh |
| 冷房CO2発生量 | ton-CO2 | 6.27 | 6.27 | 8.14 | 0.378kg-CO2/kWh |
| 年間CO2発生量 | ton-CO2 | 16.87 | 16.87 | 24.80 | |
| | % | 68 | 68 | 100 | |
| ◆15年後のトータルコスト | | | | | |
| 補助金なし | 円 | 42,110,483 | 35,180,483 | 40,110,090 | |
| 補助率1/3適用の場合 | 円 | 33,640,483 | 29,020,483 | 40,110,090 | NEDO高効率建築物補助金を想定 |
| 補助率1/2適用の場合 | 円 | 29,405,483 | 25,940,483 | 40,110,090 | 環境省補助金を想定 |
| ◆30年後のトータルコスト | | | | | |
| 補助金なし | 円 | 58,810,967 | 51,880,967 | 67,020,181 | |
| 補助率1/3適用の場合 | 円 | 50,340,967 | 45,720,967 | 67,020,181 | NEDO高効率建築物補助金を想定 |
| 補助率1/2適用の場合 | 円 | 46,105,967 | 42,640,967 | 67,020,181 | 環境省補助金を想定 |

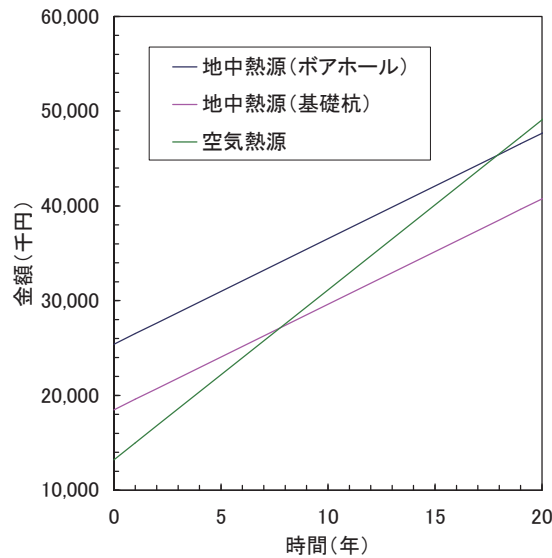


図 4-4 公共施設におけるトータルコスト比較 (補助金なし)

4.1.3. 道路および歩道への地中熱利用融雪システム

(1) 事業モデルの概要

事業モデルは図 4-5 に示すとおりで、20HP の地中熱源ヒートポンプユニットを選定した。この地中熱源ヒートポンプユニットは融雪専用に設計されたもので、歩道に設置することを想定した小型サイズの機種であり、弘前市内に 6 台の設置実績がある。このヒートポンプユニットの融雪能力は 63.9kw であるため、地域により融雪熱負荷が異なる場合は 1 ユニットで融雪可能な融雪面積を選定する必要がある。弘前における概算設計条件を表 4-5 に示す。本ユニット 1 台での融雪面積は、弘前では 420m² となり、必要地中熱交換井有効長さは、想定単位深度あたり地中熱交換量 80W/m に基づき算出すると、弘前では 660m となる。比較対象とした電熱線方式による融雪は、面積 420m² を共通とし、その他の値には一般値を採用した。

なお、本地中熱利用融雪設備は冬期間のみの利用のため、夏期には近傍の建物への冷熱供給と併用できるようなシステムの構築が望ましい。先述の地熱資源の活用状況で紹介した“まちなか情報センター”施設が、融雪と冷暖房を組み合わせた例であるが、非常に経済的なランニングコストであったことが確認できている。ただし、本ビジョンでは、本ヒートポンプユニットが融雪専用であることや想定条件の簡略化を目的に、融雪のみで検討を行うこ

ととする。

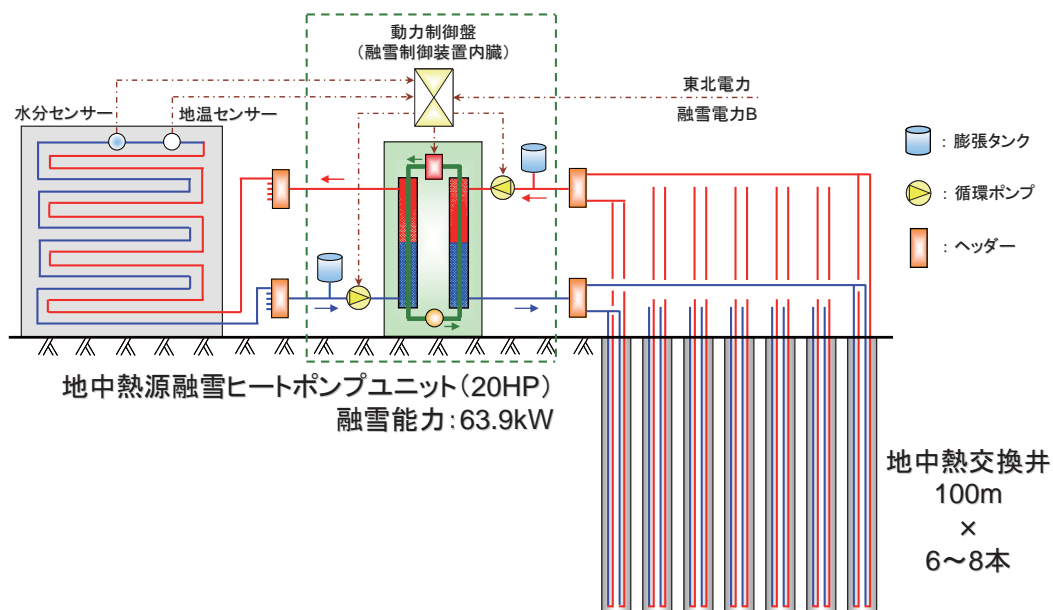


図 4-5 融雪システム概念図

表 4-5 融雪システムにおける概算設計条件

| 項目 | 単位 | 地中熱方式 | | 電熱線方式 | |
|----------------------|-------------------|-------|------------------|-------|------------|
| | | 値 | 備考 | 値 | 備考 |
| ◆概算設計条件 | | | | | |
| (1) 設計融雪熱負荷原単位 | W/m ² | 152 | 計算値 | 200 | 一般値 |
| (2) 設計日降雪深度 | cm/day | 10.8 | 想定:弘前 | — | — |
| (3) 設計時間降雪深度 | cm/hour | 1.7 | 〃 | — | — |
| (4) 設計外気温 | °C | -4.5 | 〃 | — | — |
| (5) 設計風速 | m/s | 2.0 | 〃 | — | — |
| (6) 降雪の密度 | g/cm ³ | 0.08 | 〃 | — | — |
| (7) 熱効率 | — | 0.85 | — | — | — |
| (8) 熱源機器加熱能力 | kW | 63.9 | カタログ値 | 84.0 | = (1)・(11) |
| (9) 消費電力 | kW | 11.5 | 〃 | 84.0 | — |
| (10) COP | — | 5.6 | = (8)/(9) | 1.0 | — |
| (11) 融雪面積 | m ² | 420 | = (8)・1000/(1) | 420 | 地中熱に統一 |
| (12) 必要地中熱交換量 | kW | 52.4 | = (8)-(9) | — | — |
| (13) 設計単位深度あたり地中熱交換量 | W/m | 80 | 想定値 | — | — |
| (14) 必要地中熱交換井有効長さ | m | 660 | = (12)・1000/(13) | — | — |

気象データの出典：気象庁アメダスデータより

(2) 事業モデルの評価および課題

道路および歩道への地中熱利用融雪システムの評価結果を表 4-6 に、トータルコスト比較を図 4-6 に示す。地中熱利用融雪システムは、電気融雪に比べイニシャルコストでは約 10,000 千円高くなっているが、ランニングコストの安さ（約 78%削減）により 15 年後のトータルコストでは、約 2,914 千円安くなっている。仮に、環境省の補助金 1/2（地方公共団体向け加熱能力 50kW 以上）が適用された場合は、イニシャルコストが既に電気融雪に比べ安くなり、トータルコストでの効果はより大きくなる。なお、CO₂ 発生量で比較した場合、電気融雪に比べ年間約 27ton の削減が見込まれる。

表 4-6 融雪システムにおけるコストおよび CO₂ 発生量比較

| 項目 | 単位 | 地中熱方式 | | 電熱線方式 | |
|------------------------------|--------------------|------------|------------------------------|------------|------------------------------|
| | | 値 | 備考 | 値 | 備考 |
| ◆概算イニシャルコスト | | | | | |
| 地中熱交換井設置工事 | 円 | 6,600,000 | 10,000円/m | — | |
| 地中熱源融雪ヒートポンプユニット | 円 | 10,000,000 | | — | |
| 熱源水配管工事 | 円 | 3,500,000 | | — | |
| 舗装工事(温水配管工事含む) | 円 | 7,560,000 | 18,000円/m ² | — | |
| 電気工事 | 円 | 500,000 | | — | |
| 試運転調整費(ライン注入, エア抜き含) | 円 | 1,000,000 | | — | |
| 諸経費 | 円 | 4,374,000 | | — | |
| 合計 | 円 | 33,534,000 | | 23,100,000 | |
| | 円/m ² | 79,800 | | 55,000 | 一般値 |
| ◆年間ランニングコスト | | | | | |
| 電力契約量 | kW | 20 | | 84 | |
| 設計稼働時間 | h | 1,000 | 想定値 | 1,000 | 想定値 |
| 基本料金単価(最初の3ヶ月)* ¹ | 円/kW | 1,869.00 | 融雪電力B(低圧) | 1,785.00 | 融雪電力B(高圧) |
| 〃 (それ以降)* ¹ | 円/kW | 441.00 | 〃 | 420.00 | 〃 |
| 電力量料金単価* ¹ | 円/kWh | 8.03 | 〃 | 7.74 | 〃 |
| 基本料金 | 円 | 120,960 | | 485,100 | |
| 電力量料金 | 円 | 124,465 | | 650,160 | |
| 電力料金 | 円 | 245,425 | | 1,135,260 | |
| | 円/m ² | 584 | | 2,703 | |
| ◆年間CO ₂ 発生量 | kg-CO ₂ | 5,859 | 0.378kg-CO ₂ /kWh | 33,264 | 0.378kg-CO ₂ /kWh |
| ◆15年後のトータルコスト | 円 | 37,215,375 | | 40,128,900 | |
| 〃 (補助金1/2適用時) | 円 | 20,448,375 | | 40,128,900 | |
| ◆30年後のトータルコスト | 円 | 40,896,750 | | 57,157,800 | |
| 〃 (補助金1/2適用時) | 円 | 24,129,750 | | 57,157,800 | |

注記) 融雪電力 B(高圧)の料金単価: 青森県内某所における実績値より

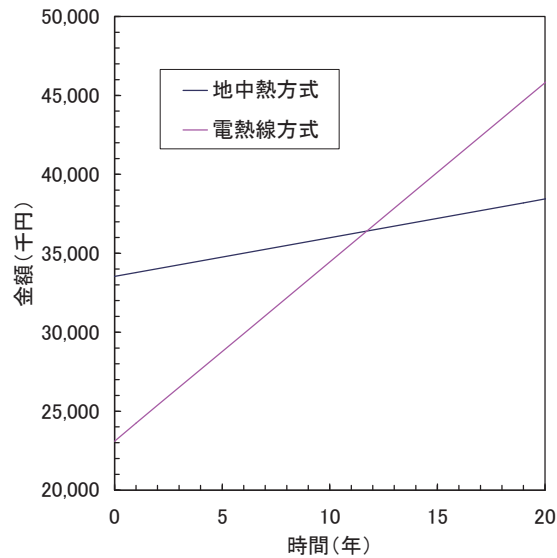


図 4-6 融雪システムにおけるトータルコスト比較（補助金なし）

【参考：地下水汲み上げによる駐車場およびエントランス融雪】

地元業者により、地下水汲み上げによる駐車場およびエントランス融雪が行われている。以下に、参考値として標準工事費とランニングコスト（地元業者へのヒアリング結果）を示す。

◆ 施工面積：40.0m²（普通乗用車 2 台分と歩行用通路）

◆ イニシャルコスト

| | | |
|--------------------------------|----|-----------|
| 1. さく井工事（揚水井 10m、還水井 10m）計 20m | 一式 | 300,000 円 |
| 2. ポンプ工事（100V、250W 材工共） | 一式 | 220,000 円 |
| 3. 配管工事（材工共） | 一式 | 230,000 円 |
| 4. 土木工事（材工共） | 一式 | 400,000 円 |
| 5. 試運転調整 | 一式 | 50,000 円 |

合計（税別） 1,200,000 円
(30,000 円/m²)

◆ ランニングコスト

| | |
|------|------------------------------|
| 使用機器 | 100V 250W 1 台 |
| 使用時間 | 24h×121 日/年(12～3 月)=2,904h/年 |

| | |
|-------|---|
| 電力消費量 | $2,904\text{h/年} \times 0.25\text{kW} = 726\text{kWh/年}$ |
| 電気使用料 | $726\text{kWh/年} \times 22\text{円/kWh} = 15,972\text{円/年}$ (399円/m ²) |

上記のシステムは、融雪面積が 40.0m² と極めて小規模な案件をターゲットとしており、在来案として灯油ボイラーと比較した場合は以下である。

- ◆ 施工面積：40.0m² (上記の地下水汲み上げによる融雪に統一)
 - ◆ イニシャルコスト：1,000,000円 (=25,000円/m² × 40m²)
 - ◆ ランニングコスト：75,150円/年 (=835L/年 × 90円/L)
- 灯油消費量算出条件 融雪熱負荷：8kW (=200W/m² × 40m² ÷ 1,000)
- ボイラー燃焼効率：0.8
- ボイラー稼動時間：800h/年

上記の試算結果より、灯油ボイラーに対するイニシャルコスト増加分のランニングコスト差額での回収年数は、約 3.4年と極めて短くなっている。ただし、地下水汲み上げによる融雪では、地下水温度および揚水量が場所によって違うため、融雪能力も場所によって異なる。また、スケール等の影響により機械の更新が早いことやメンテナンスによるスケール対策が必要なこと、揚水井1本に対し還元井1本では全量地下還元が困難であるといった問題もある。

4.1.4. ハウス農業への地中熱利用暖房システム

(1) 事業モデルの概要

事業モデルは図 4-7 に示すとおりで、ハウス床面積 600m²程度の広さの農業ハウスに加熱能力 100kW の地中熱源ヒートポンプユニットを選定した。概算設計条件を表 4-7 に示す。農業ハウスに必要とされる熱負荷は、ハウスで栽培する農作物の種類や花卉類の場合も種類により必要熱負荷は異なるが、ハウス内での農作物の選択はこのモデルから除外した。本モデルでは上述のハウスに必要な熱量を、地中熱源ヒートポンプで供給する条件で想定した。本概算設計条件においては、ハウス内設定温度を 15℃、外気温を-1℃にて想定しており、主な野菜の最低生育温度以上としている（詳細は、表 4-8 の野菜の品種別生育適温・光適応性などを参照）。

また、農業ハウスへの熱供給は温風を直接吹き出す方式と温水を循環しファンコイルユニットで温風を吹き出す方法、更に、温水管やパネルから輻射熱を放熱する方法等が想定されるので、農作物や規模、管理体制等を考慮して選定する必要がある。

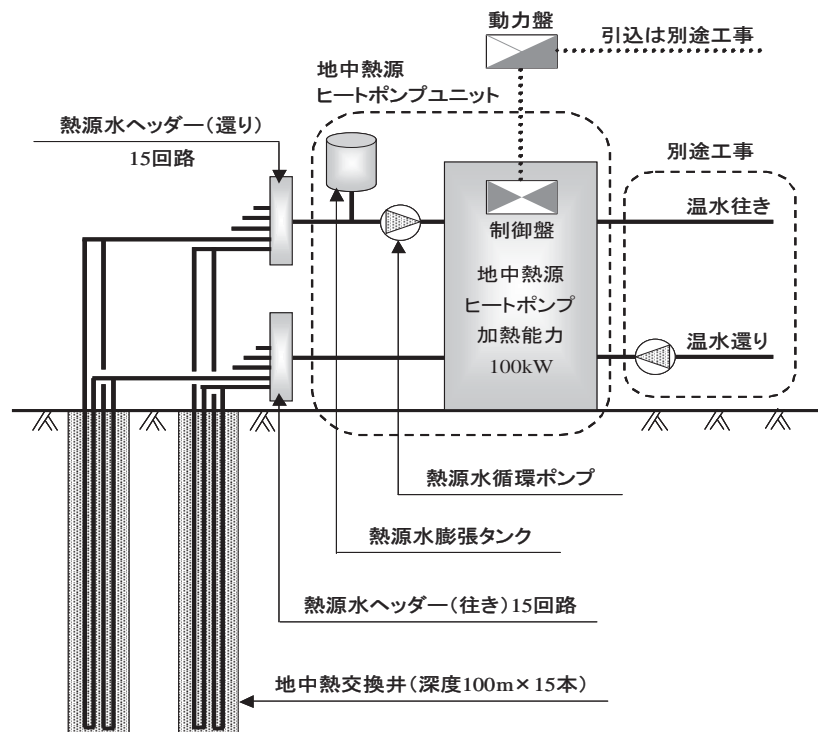


図 4-7 ハウス農業への地中熱利用暖房システム概念図

表 4-7 ハウス農業における概算設計条件

| 項目 | 数値 | 単位 | 備考 |
|----------------|-------|-----|---|
| 地中熱源ヒートポンプ | | | |
| 加熱能力 | 100.0 | kW | 45HP程度(ハウス床面積600m ² 相当機種「青森の場合」) |
| 消費電力 | 27.2 | kW | |
| COP | 3.68 | — | 想定値 |
| 地中熱源容量 | | | |
| 必要地中熱交換量 | 72.8 | kW | 加熱能力÷消費電力 |
| 平均地中熱交換量 | 60 | W/m | 想定値(通常, サーマルレスポンス試験結果より算出) |
| 必要地中熱交換器有効長さ | 1,300 | m | 必要地中熱交換量×1,000÷平均地中熱交換量 |
| 1本あたりの地中熱交換井深度 | 100 | m | 想定値 |
| 必要地中熱交換井本数 | 13 | 本 | 必要地中熱交換器有効長さ÷1本あたりの地中熱交換井深度 |

(2) 事業モデルの評価および課題

ハウス農業への地中熱利用暖房システムのランニングコストおよびCO₂発生量の比較結果を表4-9に示す。また、イニシャルコストおよび単純償却年数試算結果を表4-10に示す。表4-9より、稼動期間および稼動時間が想定値ではあるものの、灯油ボイラーに比べ年間ランニングコストで61%削減(年間2,090千円)、年間CO₂発生量で65%削減(年間59ton)との試算結果となった。また、表4-10より、イニシャルコストでは灯油ボイラーに比べ5.6倍程度となるものの、ランニングコストの大幅な低減により償却年数では15.0年となった。ただし、補助率1/2が適用された場合は、償却年数が5.9年に短縮となる。

表 4-8 野菜の品種別生育適温・光適応性など

| 品目名 | 生育ステージ | 最低生育温度 | 生育適温 | 光適応性 | 備考 |
|--------|------------------------------------|------------|--|--------------------------------------|---------------------|
| トマト | 発芽 育苗期前半 育苗期後半 定植～第1花房着果時 | | 20～30℃ 25℃(日中) 18℃(夜間) 20～25℃(日中) 15℃(夜間) 23～27℃(日中) 15℃(夜間) | 強光を必要。低日照は落花、花粉発芽率の低下、すじぐされ病を誘発 | |
| いちご | 出期 開花期 果実肥大期 収穫期 | | 28～30℃(日中) 10℃(夜間) 23～25℃(日中) 9℃(夜間) 20～25℃(日中) 7℃(夜間) 20℃(日中) 5℃(夜間) | 比較的弱光に耐えるが、日照が不足すると不稔花粉率が増加し、奇形果となる。 | 開花前後の花器は5℃以下で障害を受ける |
| みつば | 発芽 生育期 | 8℃ | 20℃ 25℃(日中) 10～15℃(夜間) | 弱光を好む | |
| アスパラガス | 発芽 伏せ込み～萌芽 萌芽後 | | 25～30℃ 15～20℃(床温) 5～30℃(気温) 15～17℃(床温) 5～25℃(気温) | 比較的弱光に耐える | 発芽した茎葉は凍害を受けやすい |
| にら | 発芽 生育期 | 10℃ 10℃ | 20℃ 20℃前後 | 比較的弱光に耐える | |
| しゅんぎく | 発芽 生育期 | 8℃ 5℃ | 15～20℃ 15～20℃ | 比較的弱光に耐える | 耐寒性が強い |
| ほうれんそう | 発芽 生育期 | 0～4℃ 8℃ | 15～20℃ 10～20℃ | 比較的弱光に耐える | 耐寒性が強い |
| こまつな | 発芽 生育期 | 5℃ | 15～35℃ 20～25℃ | 比較的弱光に耐える | 耐寒性が強い |
| なばな類 | 発芽 生育期 | 5℃ | 20～25℃ 15～20℃ | 比較的弱光に耐える | 耐寒性が強い |
| つげな類 | 発芽 生育期 | 4～8℃ | 15～35℃ 18～20℃ | 比較的弱光に耐える | 耐寒性が強い |
| リーフレタス | 発芽 生育期 | 8℃ | 15～20℃ 20℃前後 | 比較的弱光に耐える | 耐寒性が強い |
| ねぎ | 発芽 生育期 | 1～4℃ 5℃ | 15～25℃ 15～20℃ | 比較的弱光に耐える | 耐寒性が強い |
| こかぶ | 発芽 生育期 | 10℃ | 15～20℃ 15～22℃ | 比較的弱光に耐える | 耐寒性が強い |
| うど | 生育期 (伏せ込み) | 5℃ | 20℃(萌芽までの床温) 15℃(萌芽後の床温) | 比較的弱光に耐える | |
| たらの芽 | 生育期 (伏せ込み) | 10℃ | 18～20℃(床温) | 比較的弱光に耐える | |
| しどけ | 生育期 (伏せ込み) | 5℃ | 15℃前後(床温) | 弱光を好む | |
| せり | 発芽 定植後 | | 24℃(日中) 10～15℃(夜間) 10～19℃ | 弱光を好む | |
| キャベツ | 発芽 生育期 | 4～8℃ 5℃ | 15～30℃ 15～20℃ | 比較的弱光に耐える | 耐寒性が強い |
| にんじん | 発芽 生育期 | 4℃ | 15～20℃ 18～23℃(日中) 13～18℃(夜間) | 比較的弱光に耐える | 耐寒性が強い |

(出典：冬の農業生産技術マニュアル(2004) 青森県冬の農業推進チーム)

表 4-9 ハウス農業への地中熱利用暖房システムのランニングコストおよびCO₂発生量試算

| No. | 項目 | 数値 | 単位 | | 備考 |
|------|--------------------------|-----------------------|-----------|-----------|-----------------|
| | | | 地中熱利用 | 灯油ボイラー | |
| (1) | 熱源機器容量(システム出力) | kW | 100 | 100 | |
| (2) | 熱源機器エネルギー利用効率 | — | 3.68 | 0.80 | |
| (3) | 熱源機器消費電力 | kW | 27.2 | — | |
| (4) | 灯油ボイラーの熱源相当電力消費量 | kW | — | 125.0 | |
| (5) | 温水循環ポンプ消費電力 | kW | 2.2 | 2.2 | 循環ポンプ消費電力 |
| (6) | 熱源水循環ポンプ消費電力 | kW | 3.5 | — | |
| (7) | トータル電力消費量(契約電力量概算値) | kW | 32.9 | 2.2 | |
| (8) | 1日の想定全負荷相当運転時間 | h/日 | 15.0 | 15.0 | |
| (9) | 年間の想定運転期間 | 日/年 | 180 | 180 | 6ヶ月間(11~4月)を想定 |
| (10) | 年間の全負荷相当運転時間 | h/年 | 2,700 | 2,700 | |
| (11) | 年間電力消費量 | kWh/年 | 88,760 | 5,940 | |
| (12) | 年間灯油消費量 | L/年 | — | 35,225 | |
| (13) | 基本料金単価(低圧電力の場合) | 円/kWh | 1,207.50 | 1,207.50 | 東北電力約款より |
| (14) | 電力量料金単価(低圧電力の場合) | 円/kWh | 11.56 | 11.56 | 〃 |
| (15) | 基本料金 | 円 | 238,172 | 15,939 | 6ヶ月分(11~4月)のみ考慮 |
| (16) | 電力量料金 | 円 | 1,026,061 | 68,666 | |
| (17) | 電気料金(税込) | 円 | 1,327,444 | 88,836 | |
| (18) | 灯油単価 | 円/L | — | 90 | |
| (19) | 灯油料金(税込) | 円 | — | 3,328,717 | |
| (20) | ランニングコスト評価 | | | | |
| (21) | 年間ランニングコストの合計 | 円/年 | 1,327,444 | 3,417,552 | 年間2,090千円削減 |
| (22) | 指数表示 | % | 39 | 100 | 61%削減 |
| (23) | 省エネルギー性評価 | | | | |
| (24) | 年間エネルギー消費量の合計 | Mcal/年 | 76,333 | 295,358 | 年間219Gcalの省エネ |
| (25) | 指数表示 | % | 26 | 100 | 74%削減 |
| (26) | 環境性評価 | | | | |
| (27) | 年間CO ₂ 発生量の合計 | kg-CO ₂ /年 | 31,953 | 90,552 | 年間59ton削減 |
| (28) | 指数表示 | % | 35 | 100 | 65%削減 |

表 4-10 ハウス農業への地中熱利用暖房システムのイニシャルコストおよび単純償却年数試算

◆ 地中熱利用システムの場合

| No. | 項目 | 数量 | 単位 | 単価 | 価格 | 備考 |
|-----|-----------------|----|----|------------|------------|----------|
| 1 | ヒートポンプユニット(特注品) | 1 | 台 | 14,900,000 | 14,900,000 | 運搬費込み |
| 2 | 地中熱交換井設置工事費 | 1 | 式 | 13,000,000 | 13,000,000 | 仕上げ含む |
| 3 | 井戸横引き配管工事費 | 1 | 式 | 3,300,000 | 3,300,000 | 部材費含む |
| 4 | 電気工事費 | 1 | 式 | 2,300,000 | 2,300,000 | 動力盤含む |
| 5 | 試運転調整費 | 1 | 式 | 1,200,000 | 1,200,000 | 不凍液材料費含む |
| 6 | 諸経費 | 1 | 式 | 3,500,000 | 3,500,000 | |
| 合計 | | | | | 38,200,000 | 税別 |

◆ 灯油ボイラーシステムの場合

| No. | 項目 | 数量 | 単位 | 単価 | 価格 | 備考 |
|-----|---------------|----|----|-----------|-----------|--------------------|
| 1 | ボイラーユニット(屋外型) | 1 | 台 | 2,840,000 | 2,840,000 | 運搬費込み |
| 2 | オイルタンク(屋外型) | 1 | 台 | 320,000 | 320,000 | " (容量:約1,900L) |
| 3 | 防油堤 | 1 | 台 | 270,000 | 270,000 | " (容量:約2,200L) |
| 4 | フード | 1 | 台 | 700,000 | 700,000 | " |
| 5 | その他部材費 | 1 | 式 | 100,000 | 100,000 | 油配管部材,感震器,コントローラなど |
| 6 | 工事費 | 1 | 式 | 1,800,000 | 1,800,000 | 搬入据付,油配管,電気工事等 |
| 7 | 試運転調整費 | 1 | 式 | 300,000 | 300,000 | |
| 8 | 諸経費 | 1 | 式 | 500,000 | 500,000 | |
| 合計 | | | | | 6,830,000 | 税別 |

◆ 初期投資額回収年数(単純償却年数)について

| 項目 | 数値 | 備考 |
|--------------------------------------|-------|----|
| 初期投資額回収年数(単純償却年数) | 15.0年 | |
| 初期投資額回収年数(単純償却年数)補助率1/2の場合:環境省補助金を想定 | 5.9年 | |

4.1.5. ハウス農業への地下水熱利用暖房システム

(1) 事業モデルの概要

モデル案は図 4-8 に示すとおりで、六戸町のある施設における既設の水井戸から地下水を汲み上げてヒートポンプの熱源に活用し、既設ボイラー1 台分を本システムに切り替えるとの条件にて試算を行った。その概算設計条件を表 4-11 に示す。本施設では 1 棟 600 坪×10 棟でオオバの栽培を行っており、冬季は 1 棟あたり 2 基のボイラ (145kW/基) を使用して栽培しているが、燃料単価の高騰によりエネルギーコストの削減が課題となっている。年間のハウス栽培の燃料費は 3,000 万円、電気代は工業用特別高圧で月平均 50 万から 60 万程度かかっているが、電源地域であることから電気料金単価は通常の半分程度である。以上より、既設ボイラーから地下水熱利用暖房システムへシフトすることは、ランニングコストの低減および CO₂ 排出量の削減に大きく貢献するものと考えられる。

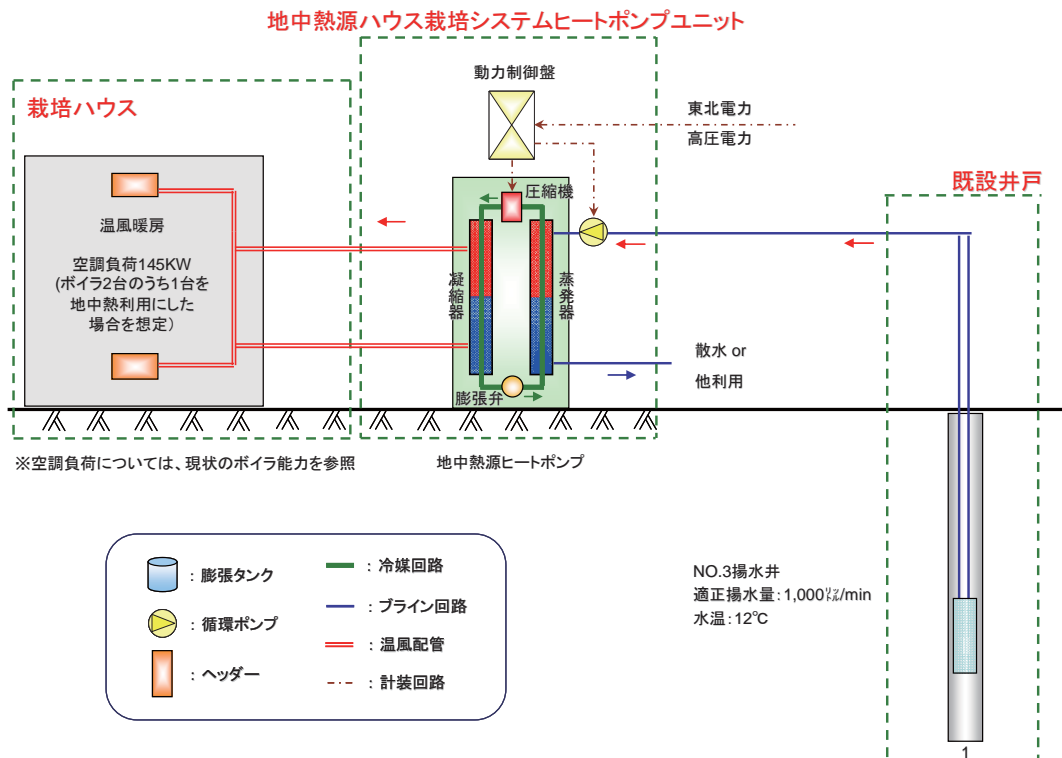


図 4-8 ハウス農業への地下水熱利用暖房システム概念図

表 4-11 既設設備を有効利用した概算設計条件

| No | 項目 | 数値 | 単位 | 備考 |
|----|------------|--------|-------------------|--------------------------------------|
| ① | ハウス面積 | 990 | m ² | ボイラー台分(既設ハウス(1880m ²)÷2) |
| ② | ハウス空調負荷 | 145 | KW | 既設ボイラ能力1台分 |
| ③ | ヒートポンプ加熱能力 | 152.0 | KW | 熱源(井戸)12℃→7℃ |
| ④ | ヒートポンプ消費電力 | 22 | KW | |
| ⑤ | 送風量 | 10,000 | m ³ /h | |
| ⑥ | 送風機消費電力 | 5.5 | KW | |
| ⑦ | 水井戸側必要流量 | 360 | ℓ | |

(2) 事業モデルの評価および課題

ハウス農業への地下水熱利用暖房システムのイニシャルコスト試算結果を表 4-12 に、ランニングコストおよび CO₂ 発生量試算結果を表 4-13 に示す。表 4-12 より、既設の水井戸を使用することにより掘削費が必要ないため、ヒートポンプユニットが高額ではあるものの、イニシャルコストは抑えることができたと考えられる。また、ランニングコストも年間 79% (1,805 千円) 削減、CO₂ 発生量も年間 78% (52ton) 削減と高効率なシステムを構築できたと判断される。ハウス農業施設に限らず、水井戸のような既存設備の活用は、有意義なシステムの構築に繋がると考えられる。

表 4-12 ハウス農業への地下水熱利用暖房システムのイニシャルコスト

| No. | 項目 | 数量 | 単位 | 単価 | 金額 |
|-----|----------------|----|----|-------------|-------------|
| 1 | 水井戸掘削工事 | 1 | 式 | 0円 | 0円 |
| 2 | ヒートポンプユニット設置工事 | 1 | 式 | 16,800,000円 | 16,800,000円 |
| 3 | 配管工事 | 1 | 式 | 2,000,000円 | 2,000,000円 |
| 4 | 電気計装工事 | 1 | 式 | 2,500,000円 | 2,500,000円 |
| 5 | 総合調整費 | 1 | 式 | 500,000円 | 500,000円 |
| 6 | 諸経費 | 1 | 式 | | 4,360,000円 |
| | 合計 | | | | 26,160,000円 |

- ◆No.1: 既設の水井戸を活用 ※ 既設ボイラ1台分を地中熱利用として想定
- ◆No.2: ヒートポンプユニット機材費および搬入・据付工事費を含む一式
- ◆No.3: ハウス近くに井戸水配管があるものとする
- ◆No.4: 動力制御盤、動力配管配線工事を含む一式
- ◆No.5: 上記工事をシステムとして完成させるための試運転調整を含む一式
- ◆別途工事: 温風送風機からのダクト工事
- ◆その他: 水井戸から360ℓ程度空調に使用できるものとする

表 4-13 ハウス農業への地下水熱利用暖房システムのランニングコスト

| No. | 項目 | | 地中熱利用システム | 温風送風機(ボイラ) | 備考 |
|------|--------------------------|-----------------------|--------------------------|--------------------------|-----------------|
| (1) | 熱源機器容量(システム出力) | kW | 152.0 | 145.0 | |
| (2) | 熱源機器エネルギー利用効率 | — | 3.5 | 0.8 | |
| (3) | 熱源機器消費電力 | kW | 27.0 | — | ヒートポンプ+送風機 |
| (4) | 灯油ボイラーの熱源相当電力消費量 | kW | — | 181.3 | |
| (5) | 温水循環ポンプ消費電力 | kW | | 1.75 | ボイラ運転電流 |
| (6) | 揚水ポンプ消費電力 | kW | 5.50 | — | ヒアリングより |
| (7) | トータル電力消費量 | kW | 32.5 | 1.8 | |
| (8) | 1日の想定全負荷相当運転時間 | h/日 | 7.0 | 7.0 | 想定値(シーズン日平均) |
| (9) | 年間の想定運転期間 | 日/年 | 180 | 180 | 11月~6月 |
| (10) | 年間の全負荷相当運転時間 | h/年 | 1,260 | 1,260 | |
| (11) | 年間電力消費量 | kWh/年 | 40,950 | 2,205 | |
| (12) | 年間重油消費量 | L/年 | 0.0 | 23,835 | |
| (13) | 基本料金単価 | 円/kW | 865 | 865 | ヒアリング結果より推測 |
| (14) | 電力量料金単価 | 円/kWh | 11.00 | 11.00 | 〃 |
| (15) | 基本料金 | 円 | 168,675 | 9,083 | 6ヶ月分(11~4月)のみ考慮 |
| (16) | 電力量料金 | 円 | 450,450 | 24,255 | |
| (17) | 電気料金(税込) | 円 | 472,973 | 25,468 | |
| (18) | 灯油単価 | 円/L | — | 90 | |
| (19) | 灯油料金(税込) | 円 | — | 2,252,432 | |
| (20) | ランニングコスト評価 | | | | |
| (22) | 年間ランニングコストの小計 | 円/年 | 472,973円 | 2,277,899円 | 年間1,805千円削減 |
| (23) | 指数表示 | % | 21% | 100% | 79%削減 |
| (24) | 省エネルギー性評価 | | | | |
| (25) | 年間エネルギー消費量の合計 | Mcal/年 | 35,217Mcal | 198,299Mcal | 年間163Gcalの省エネ |
| (26) | 指数表示 | % | 18% | 100% | 82%削減 |
| (27) | 環境性評価 | | | | |
| (28) | 年間CO ₂ 発生量の合計 | kg-CO ₂ /年 | 14,742kg-CO ₂ | 66,817kg-CO ₂ | 年間52ton削減 |
| (29) | 指数表示 | % | 22% | 100% | 78%削減 |

以上、地中熱利用域について5項目の事業モデルを構築した。

地中熱源ヒートポンプシステムは空気熱源ヒートポンプシステムと比べると地中熱交換器が必要なため、その分のインシヤルコストが増加する実態にあるが、大気温度に比べて年間を通して安定した地中の熱を熱源に利用するためシステム効率(COP)が高く、その分省エネルギーでランニングコストが安く、CO₂の発生量も低減するシステムである。最近では環境問題のCO₂削減対策として地中熱源ヒートポンプシステムが取上げられる状況になりつつあるが、まだ経済性の面からは早急な普及促進は難しい実態にある。

しかしながら、ここで提案するモデル事業を更に地域特性に合ったシステムとして検討し、最適な条件を追求して実行可能な事業を選定し、ひとつひとつ事業として成立させることが重要なことと推察する。

4. 2. 低温熱水利用域（高温源泉の有効利用）

低温熱水利用域における事業モデルには、高温源泉および未利用源泉の有効利用や既設の温泉施設からの排湯の熱利用とし、新たな温泉を確保して、その熱を利用する条件は想定していない。以上は、比較的高温度の熱利用が可能なため、熱交換のみによる熱利用後、温度低下した温水を更にヒートポンプの熱源に使用するなどカスケード利用も想定される。ただし、熱源として利用できる温泉がある地域という、立地条件で特定される。このため、熱需要も限られる場合が多く、どのような源泉または温泉排熱利用が最も効率的、経済的と想定されるかが大きな課題といえる。また、温泉熱を利用する場合は、温泉の泉質（温泉に含まれる種々の化学成分や pH 等）、利用可能な温度域や温泉量等が大きな条件となる。特に、温泉の泉質は温泉水を直接利用できる場合と熱交換器で地下水や河川水と熱交換しなければならない場合では、熱交換設備等の設置費用やランニング費用に大きな影響が発生することに注意が必要である。また、温泉浴用後の排湯を熱源として利用する場合は、貯湯槽や排湯の浄化装置等も必要となることもある。青森県は多くの温泉があり、融雪、暖房、農業ハウス等の熱源として一部利用されているが、更に有効利用が促進されるものと考えられる。本モデルではその一例として、浅虫温泉でのヒアリング結果を基に、高温源泉の宿泊施設内暖房および給湯への有効利用を例に示す。

4. 2. 1. 事業モデルの概要

浅虫温泉では、8 箇所の源泉を一度集約させ、浅虫温泉事業共同組合により各施設へ配湯されている。源泉温度は最低 63℃、最高 78℃、平均 70℃程度であり、伏流水との混合により約 56℃まで低下する。この約 56℃の温泉は、各施設へ配湯された後、浴用可能な温度まで低下（42～43℃）させるために水道水と混合して使用している。また、浴用利用した後のお湯は、一部散水融雪などにも使用されているが、そのほとんどは下水処理されているのが現実である。また、客室の給湯にも水道水を使用しているため、温泉宿泊施設では膨大な水道料金が発生している。他にも、給湯および暖房に使用している灯油焚きボイラーの燃料費が高額となるなど、水道料金および燃料費だけで施設規模によるが毎月数百万円に達している。以上の背景より、ある施設における約 56℃の温泉使用量を基に、これまで水道水と混合することで浴用可能な温度まで低下させていた箇所に、新規に架橋ポリエチレン管による熱

交換器（投込み式熱交換器）を設置し、温泉温度を水と混合させずに低下させ、更には熱交換したお湯を給湯や暖房に有効利用した場合についてモデルを構築する。目的は、水道料金および給湯・暖房に使用していたボイラー燃料費の削減にある。事業モデルを図 4-9 に示す。なお、温泉の性質によってはスケーリングが激しくて投込み式熱交換器であっても頻繁にスケール除去等のメンテナンスを必要とする状況も想定されるが、本モデルではこのようなメンテナンスは想定していない。温泉排熱を利用する場合は、どのような泉質の温泉か、また、未利用温泉以外の熱源として浴用利用後の排湯を利用するか等の条件が大きく影響する可能性が高い。温泉利用においては温泉成分によるスケーリングと化学成分やガス等による熱交換器や配管の腐蝕が大きな課題になるので、実施設計に当たっては十分な検討が必要である。

モデルとした温泉宿泊施設の過去 6 年間の温泉使用量は年間平均で 18,086m³ であり、温泉使用料金を仮に 70 円/m³（従量料金のみ）とした場合、基本料金別途で年間 1,266 千円かかっていることとなる。この温泉使用量を基に、浴用可能な温度まで低下させるための水道使用量を試算すると年間 15,643m³ となり、水道料金（下水道使用料含む）に換算すると年間で約 3,820 千円と高額である。

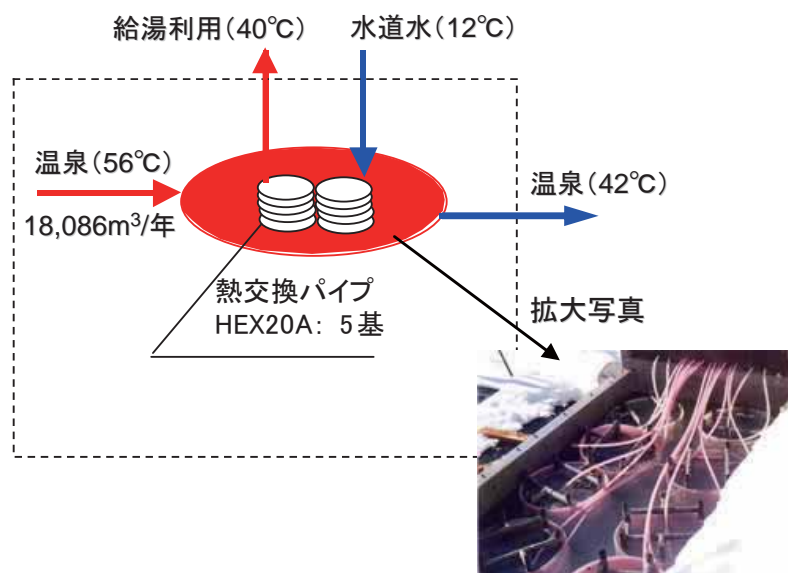


図 4-9 温泉熱利用モデル概念図

4.2.2. 事業モデルの評価および課題

これまで水道水と混合していた箇所に、投げ込み式の熱交換器（図 4-6 拡大写真参照）を設置し、温泉温度を浴用可能な温度まで低下させ、更に熱交換した温水を施設内の暖房や給湯に利用する場合、追加で必要となる設備は、主に熱交換器のみ（予め貯湯槽などが設置されている場合）である。よって、導入コスト（以下を参照）が非常に安く済むメリットがある。

| | | |
|-----------------|-----|-------------|
| 1. 熱交換器（ヘッダー含む） | 1 式 | 1,250,000 円 |
| 2. 設置工事費 | 1 式 | 150,000 円 |
| | 合計 | 1,400,000 円 |

（注記）現地の状況により追加設備の有無や設置工事費が大きく異なる。

ただし、熱交換した温水温度が低い場合には、既設のボイラーなどで更に昇温し暖房あるいは給湯に利用することとし、逆に温泉温度が浴用可能な温度まで低下していない場合には、水道水と混合することが条件となる。

なお、新設した投げ込み式熱交換器での年間の熱交換量トータルは 123,005kWh (=33.7kW×10h/日×365日) であり、灯油消費量に換算した場合、年間 12,838L に相当する。この灯油消費量は、CO₂ 排出量に換算すると 32,223kg-CO₂/年（灯油の CO₂ 排出係数：2.510kg-CO₂/L）相当し、灯油料金に換算すると 1,155,420 円/年（灯油の単価：90 円/L）と膨大である。つまり、1～2 年程度の灯油消費削減料金により、投げ込み式熱交換器の設置工事を行うことができる。

なお、温泉の熱を利用する場合は、ランニングコストは経済的となるが、大きな課題は、メンテナンス費用になると推察する。温泉の質や温度、pH、あるいは温泉に含まれる腐食性ガスの量により、熱交換器および送湯ポンプ等の配湯システムのイニシャルコストやメンテナンスコストが大きく変わる恐れがある。このモデルの例は非常に安定した温泉の性質で、腐食性やスケーリングは殆ど無いものと想定した。温泉排熱を利用する場合は、計画している温泉の質、温度、pH、ガス量等の情報を収集し腐食性やスケーリング性に対しての十分な検討が重要である。また、熱源となる温泉の温度と量から熱交換器で造成される温水の温度と量が想定されるので、用途に応じた熱交換器容量の選定が必要となる。

【 参考 】

池上ほか（2007）では、源泉掛け流しの温泉における地熱のカスケード利用の一つとして、排湯熱利用の検討を経済効果・環境効果の両面から行っている。その結果、給湯需要のための排湯熱回収システムが最も効果が大きいと記している。

4. 3. 中高温熱水利用域（バイナリー発電）

4.3.1. 事業モデルの選定および概要

今までに、NEDO 技術開発機構等の国の機関が青森県内の地熱発電を想定した高温地熱の分布域等を調査した結果、従来の蒸気による地熱発電が可能と想定される地域の大部分は、国立公園などの社会的制約がある。ただし、バイナリー発電が可能な温度を想定した場合、表 4-14 に示すとおり中高温熱水開発有望地域が存在する。高橋ほか(2001)による第四紀火山に関連した地熱資源賦存地域、第四紀火山に関連しない地熱資源賦存地域（ランク B 以上）は表 4-15 のとおりであり、表 4-14 に示した開発有望地域とリンクしている。

表 4-14 青森県における中高温熱水開発有望地域

| | 地域名 | 火山、地質状況 | 温泉 | 温度 | pH | 地下温度状況 | 高橋他(2001)の地熱資源 賦存地域とランク | 社会的制約 | 開発有望 地域 |
|-----|------|--------------------|-------|------|-----|--|------------------------------|-------------------|------------|
| 下北 | 下風呂 | むつ燧岳 | 下風呂 | 94.5 | 6.6 | 最高温度: 229°C (N59-SK-6, 深度1702m) 酸性熱水噴出 | 第四紀火山に関連 ランクA(下風呂) | — | ○※ |
| | 恐山 | 恐山 | 恐山 | 77.2 | 2.3 | 推定温度: >200°C | 第四紀火山に関連 ランクA(恐山) | 国定公園内 | — |
| 八甲田 | 八甲田 | 八甲田山 | 酸ヶ湯 | 90.7 | 1.0 | 最高温度: 236°C (N2-HD-6, 深度1560m) | 第四紀火山に関連 ランクA(八甲田) | 一部国立公園内 | — |
| | (下湯) | 八甲田山 | 下湯 | 98.9 | 7.3 | 最高温度: 122°C (N2-HD-4, 深度1000m) | | — | ○ |
| | 黒石 | 沖浦ダイサイト, 沖浦カルデラ | 二庄内 | 81.5 | 8.0 | 最高温度: 167°C (N57-OU-8, 深度1500m) | 第四紀火山に関連しない ランクA(浅瀬石(黒石)) | 県立公園普通地域 | ○ |
| | 碓ヶ関 | 碓ヶ関カルデラ, 変質帯あり | 津軽湯ノ沢 | 72.8 | 7.0 | 不明 | 第四紀火山に関連しない ランクB(碓ヶ関) | 一部県立公園普通地域 | △ |
| 津軽 | 岩木 | 岩木山 | 黒森 | 61.0 | 6.6 | 不明 | 第四紀火山に関連 ランクB(岩木) | 国定公園, 県立公園普通地域 | — |

1: 温泉の温度, pHは高橋他(2001)による。

2: 高橋他(2001)のランク

第四紀火山に関連: 中期更新世以降の火山岩分布域及びその周囲5kmで42°C以上の温泉がある地域。

第四紀火山に関連しない: 第四紀火山性地熱資源賦存域及び深層熱水資源賦存域以外で42°C以上の温泉が分布する地域。

ランクA: 90°C以上の地熱流体が得られる地点が1箇所以上あるいは70°C以上の地表兆候や1km²以上の大規模変質帯が分布する地域。

ランクB: ランクA以外で地化学温度が150°C以上ある地域。

3: 開発有望地域

○: 地下温度が確認され, 中高温熱水が得られる可能性がある地域, 社会的制約(国立公園特別地域など)を受けない地域。

△: 地下温度が未確認の地域。

○※: 開発有望地域であるが, 酸性熱水対策が必要。

表 4-15 地熱資源賦存地域（高橋ほか、2001）

| | 第四紀火山に関連した 地熱資源賦存域 | 第四紀火山に関連しない 地熱資源賦存域 |
|-------|-----------------------|---------------------------|
| ランク A | 下風呂 恐山 八甲田 | 浅瀬石川（黒石） |
| ランク B | 岩木 | 浅虫 青森東部 五所川原 碓ヶ関 |

中高温熱水開発有望地域を検討した結果は、次の通りである。

(a) 下風呂地域

下北半島の北側に位置する。地熱開発促進調査が実施されており、最高温度 229℃（N59-SK-6、深度 700m）が確認されて、熱的には有望な地域であるが、噴気試験によれば酸性熱水が噴出しており、活用にあたってはその対策が必要となる。

(b) 恐山地域

下北半島に位置する。変質帯や温泉・噴気などの地表地熱活動が活発な地域である。地熱開発促進調査は実施されていないが、温泉の性状などから地下の熱水温度は 200℃以上と推定されている。国立公園などの関係で現在のところ開発に適していない。

(c) 八甲田地域

青森県の中央部に位置する。温泉・噴気などの地表地熱活動が活発な地域である。国の調査も多数実施され、高温部が確認されている。最高温度は 236℃（N2-HD-6、深度 1560m）である。高温部は国立公園内に位置しているが、八甲田山の西麓の青森市下湯地区は国立公園外に位置し、90℃以上の温泉が湧出している。地下温度は深度 1000m で 122℃が確認され、それ以深ではより温度の高い中高温熱水が胚胎するものと期待される。

(d) 黒石地域

八甲田山の南西に位置する。現在は浅瀬石川ダムに水没しているが、80℃以上の温泉が分布していた。地下温度は深度 1500m で 167℃が確認されてい

る。この地域には沖浦カルデラが分布し、流体の貯留には適した地域であり、深部には中高温熱水が胚胎するものと期待される。

(e) 碓ヶ関地域

八甲田山の南西に位置する。地表には新規の火山岩は分布しないが、70℃以上の温泉が分布し、変質帯も分布する。碓ヶ関カルデラが分布し、中高温熱水が胚胎する可能性があるが、温度が未確認である。

(f) 岩木地域

第四紀火山の岩木山が分布するが、地下温度などは現在のところ不明である。

以上のことから、表 4-14 に示すとおり、下湯地区、黒石地域が中高温熱水開発有望地域と考えられる。また、碓ヶ関地域も中高温熱水が胚胎する可能性があるが、調査井により地下温度を把握することが必要となる。

県ではこれまで、前段で中高温熱水開発有望地域として抽出された青森市下湯地区において、バイナリーサイクル発電事業の可能性の調査・検討を進めてきている。そのため、当該事業を本ビジョンにおける中高温熱水利用域の事業モデルとして位置付けるものである。下湯地区における事業モデルを図 4-10 に、下湯の位置を図 4-11 に示す。

下湯地区は青森市の南部、八甲田山の西麓に位置する。かつては温泉旅館などの施設があり、下湯ダム建設（1988 年完成）に伴って廃業したが、現在でも、下湯ダム上流側の荒川河床より 90℃以上の高温の温泉水が湧出しており、所有者である県は活用策を模索していた。この地域の深部に中高温熱水が胚胎することが期待されることから、本事業では生産井および還元井を掘削して、中高温熱水を有効活用するものである。

計画としては、生産井で得られた中高温熱水を利用してバイナリーサイクル発電を行い、発電した電気は電気事業者へ売電あるいは公共施設に供給する。発電に利用した熱水は全量還元井に還元されるが、熱交換により熱利用を行なうことにより、地下資源の有効利用を図ることが出来る。

4.3.2. 事業モデルの今後の方向性

下湯地区でのバイナリーサイクル発電事業の実現に向けて引き続き調査・検討を進めるため、2008 年度から 2 年間、地熱開発促進調査 C-2（NEDO 技術開発機構委託事業）に応募し、ボーリング調査による資源量評価、事業化可

能性の検討等を実施する予定であり、現在、事業実施体制の検討等を進めているところである。

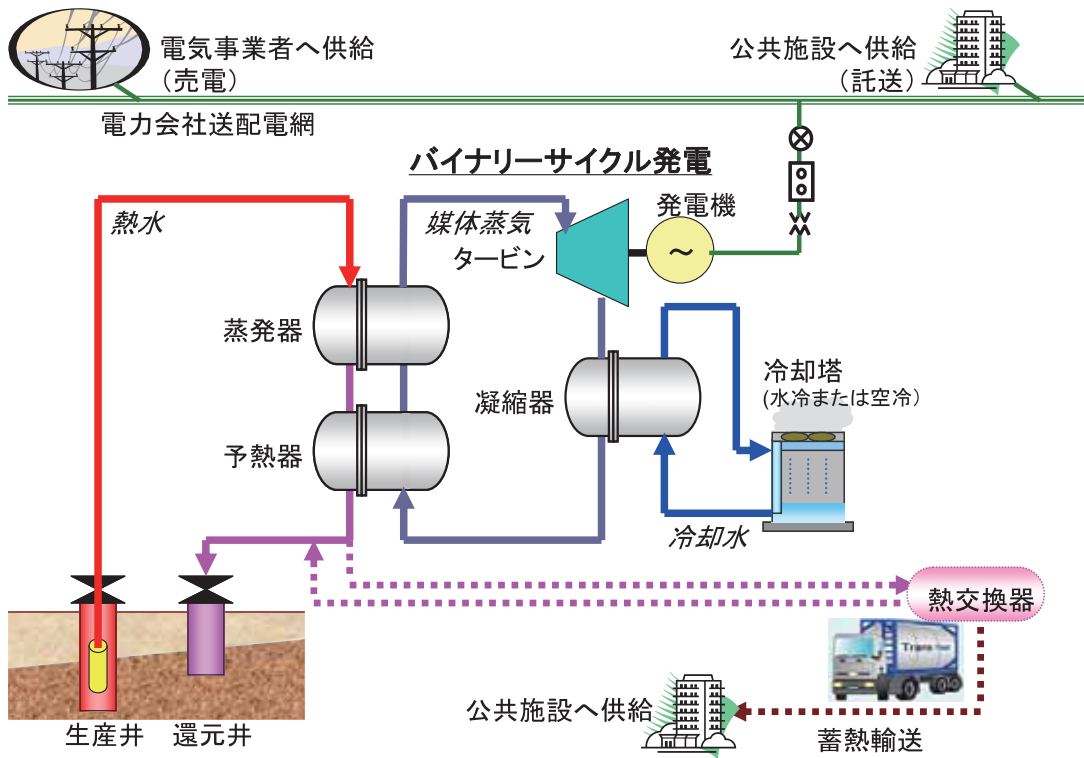


図 4-10 バイナリー発電の事業モデル

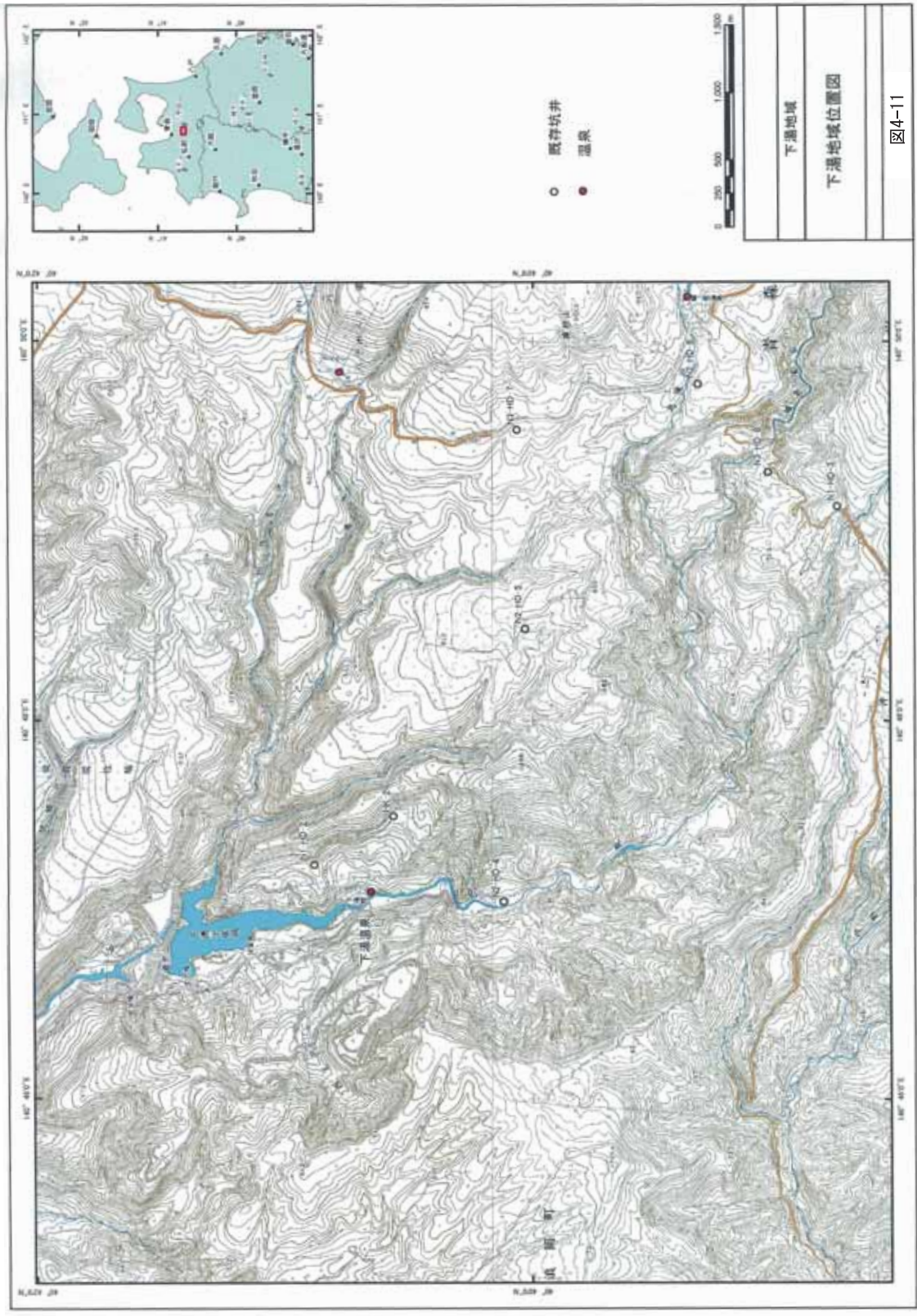


図4-11

第5章 青森県内地熱資源の利用促進に向けた方策

前章において、地熱資源の各利用域について、青森県内での導入事業モデルとその事業成立性評価を述べた。今後、県内において地熱資源の利用を促進していくためには、関連団体や業界の協力を得ながら、各事業モデルについてのショールーム的な事業の実現、更には、県内他地域への波及を図っていく必要がある。

このため、青森県は、地熱資源の利用促進の先導役を担うこととし、多様な地熱資源利用事業モデルの実現、多様な主体による地熱資源利用促進に向けた取組、地熱資源利用に対する支援策の活用と制度の拡充、地熱資源利用の関連産業の振興等を進めていく。

1. 多様な地熱資源利用事業モデルの実現、多様な主体による地熱資源利用促進に向けた取組

各種広報や行事等の機会を通じて本ビジョンの策定を県民に広くPRし、地熱資源利用の手法や意義、課題等についての普及啓発を図る。また、個別のモデル事業の実施主体の掘り起こしと円滑な実現に向けて、事業主体となり得る企業・団体等の関係各界への働きかけや、サポート頂く専門家や学識経験者等も含め、関係者間のマッチング・調整に努める。併せて、自治体の率先導入による地域への波及効果を狙って、県有施設における導入についても検討する。

実施主体の掘り起こしに当たっては、市町村の協力を得ることが重要である。主に、第3章で示された地熱資源の賦存地域を念頭に置き、当該地域の市町村の協力を得ながら、地域のニーズやエネルギーに係る動向の把握、関係者へのPRやヒアリング、モデル事業実施に向けた調整等を行っていく。地熱資源の賦存度合いやモデル事業実施可能性の高い市町村に対しては、地域新エネルギービジョンや省エネルギービジョンの策定に際して地熱資源利用を盛り込むよう、また、地熱資源利用をテーマとした重点テーマに係る詳細ビジョンの策定を実施するよう、働きかけていく。

また、事業所等への導入促進に向けて、新エネルギー導入促進研修会、省エネ診断等を通じて産業界へのPRも実施する。更に、ビジョンに関連して地熱資源利用を進めている地域や企業、個人の取組については、波及効果を狙い県民に広くPRする。

なお、個別の利用域に関して必要な取組としては、以下の項目が挙げられる。

(1) 地中熱利用域

- ・戸建住宅への導入促進に向けては、イニシャルおよびランニングコストの低減を図るため、関連業界（井戸掘削業者、設備業者、ハウスメーカー、電力会社、県内金融機関等）の協力の下、他のエネルギーとの組合せも考慮しつつ、消費者の導入しやすい、コンパクトにユニット化された廉価な地中熱利用設備導入のパッケージシステム（低利住宅ローン、より有利な融雪電力・深夜電力割引制度を含む）の開発を検討する。
- ・公共施設への導入促進に向けては、県の庁舎、学校、病院等の新設に当たって地中熱利用ヒートポンプシステム導入（特に、建物基礎杭利用方式）の検討がなされるよう、県の関係組織間の連携を図るとともに、県内自治体へ働きかけを行う。
- ・ハウス農業への導入促進に向けては、県内農業団体、特に、ハウス栽培が盛んで原油価格高騰への対応に苦慮している地域の団体へPRする。また、事業成立性評価の高かった地下水熱利用暖房システムについては、事業化フィージビリティスタディ調査の実施等、事業化に向けた具体的なステップに進むよう、主体となる事業者への働きかけを行う。

(2) 低温熱水利用域

県内温泉地における低温熱水利用（排湯熱利用）の促進に向けては、温泉地の自治体、旅館組合、源泉所有者の団体等へPRやヒアリングを行い、特に、暖房・給湯等の面における原油価格高騰への対応や、温泉街の活性化に苦慮している地域を対象に、具体的なモデル事業の実現を図る。

(3) 中高温熱水利用域

青森市下湯地区でのバイナリーサイクル発電事業の実現に向けて引き続き調査・検討を進めるため、地熱開発促進調査 C-2（NEDO 技術開発機構委託事業）に応募し、2008 年度から 2 年間、ボーリング調査による資源量評価、事業化可能性の検討等を実施する予定である。また、事業実施体制についても、併せて引き続き検討を進めていく。

2. 地熱資源利用に対する支援策の活用と制度の拡充

モデル事業の実施に当たっては、国等による既存の支援策（環境省補助事業、MEDO 技術開発機構補助事業、住宅省エネ改修促進税制（2008 年度から）

等)の活用を図るのはもちろんであるが、場合によっては、制度の拡充に向けて、国等に対し青森県における地熱資源利用の取組をPRしつつ支援を働きかけていくことも重要である。

また、地中熱利用域に関しては、利用設備の導入に対する支援以外に、適切な設備設計に必要な、地下のポテンシャルの調査に対する支援についても国等に対し働きかけていく。

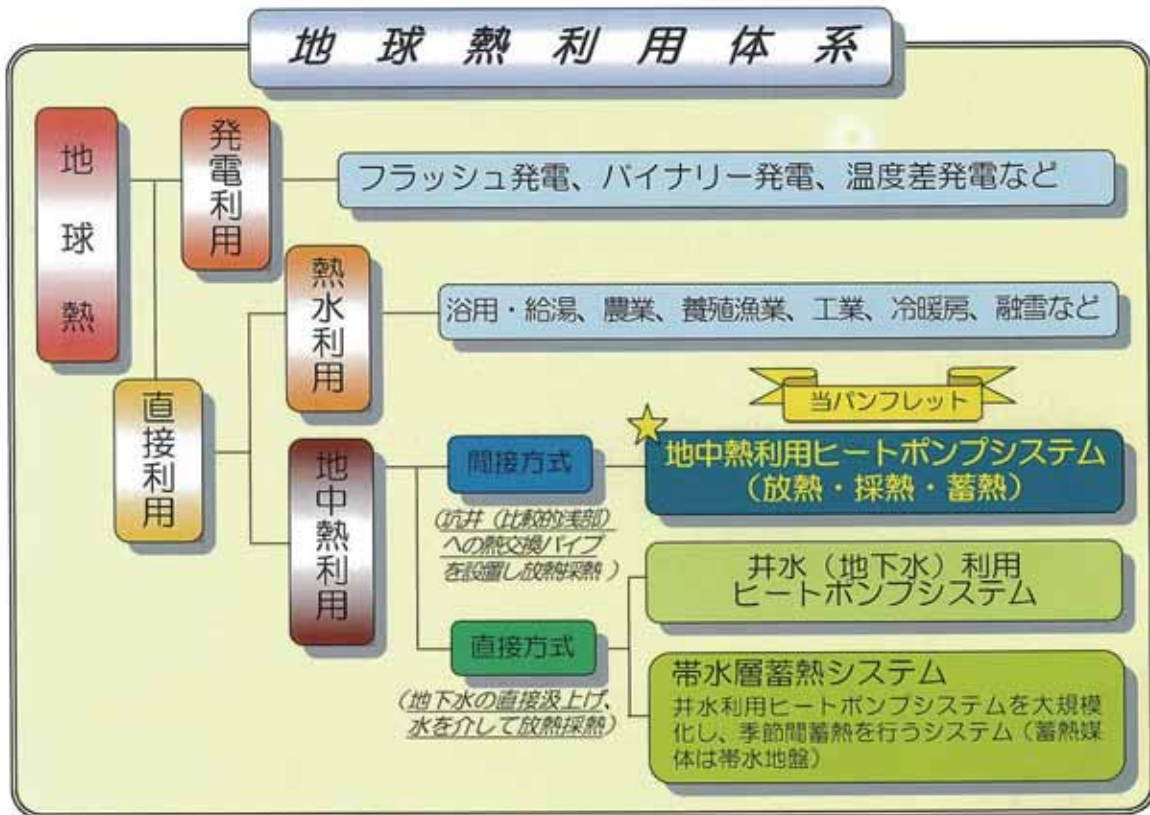
3. 地熱資源利用の関連産業の振興

モデル事業の実施に当たっては、当面は既存の機器製品やシステムを活用するが、1.(1)で述べたパッケージシステムの開発を通じて、井戸掘削以外の、関連機器の開発・製造・販売等の面でも県内企業の参入を進めることにより、地熱資源利用の促進と併せて、県内における地熱資源関連産業の育成・振興を図る。

また、温泉地における低温熱水利用に際しては、当該温泉地を挙げて導入を推進し、環境負荷の低減に配慮した先進的な温泉地としてPRすることにより、地域のイメージアップ、ひいては温泉街の活性化を図る。

資 料 編

資料 1：地熱資源各利用域の利用形態一覧表



出典：NEDO（2006）地球熱利用システム
 地中熱利用ヒートポンプシステムの特徴と課題 パンフレットより

資料 2：青森県における地中熱利用のための広域地下水調査

(独) 産業技術総合研究所 地圏資源環境研究部門 地下水研究グループ 町田 功・安川香澄

地中熱利用において、システムの設計に大きく関わる地下物性は、浅層部の温度および有効熱伝導率である。地下水流速がある程度以上高い場合 ($>10^{-6}\text{m/s}$ 程度) には、有効熱伝導率に影響するので、地下水流速を知ることは有効である。

地中熱利用のための基礎データ作成のため、青森県内の地下水調査を行った。本調査では、まず、人口密集地での利用を念頭に、青森市、弘前市、八戸市周辺で、井戸の温度測定を行った。また、各地域での地下水流速を推定するため、広域流動数値モデルを作成した。モデル作成のためには、水質分析等の広域的な地下水調査も行っている。本節では、現地調査の結果と、広域流動数値シミュレーションの結果について説明する。

1. 現地調査

青森市、弘前市、八戸市の各市周辺において、地下水調査を行った。調査内容は、観測井等の鉛直温度プロファイル、観測井等の水位観測、観測井等のスクリーン深度からのサンプリング、取水井からのサンプリング、河川からのサンプリングである。サンプルは、その場で pH、電気伝導度等を測定、また持ち帰って一般化学分析、同位体分析、炭素 14 (C_{14}) による年代測定等を行い、シミュレーションの参考とする。

図 1 および図 2 に、それぞれの地域における地下水調査地点と、50m 深度における温度の測定値を示す。また、表 1 に、各サンプルについての、一般水質調査結果を示す。

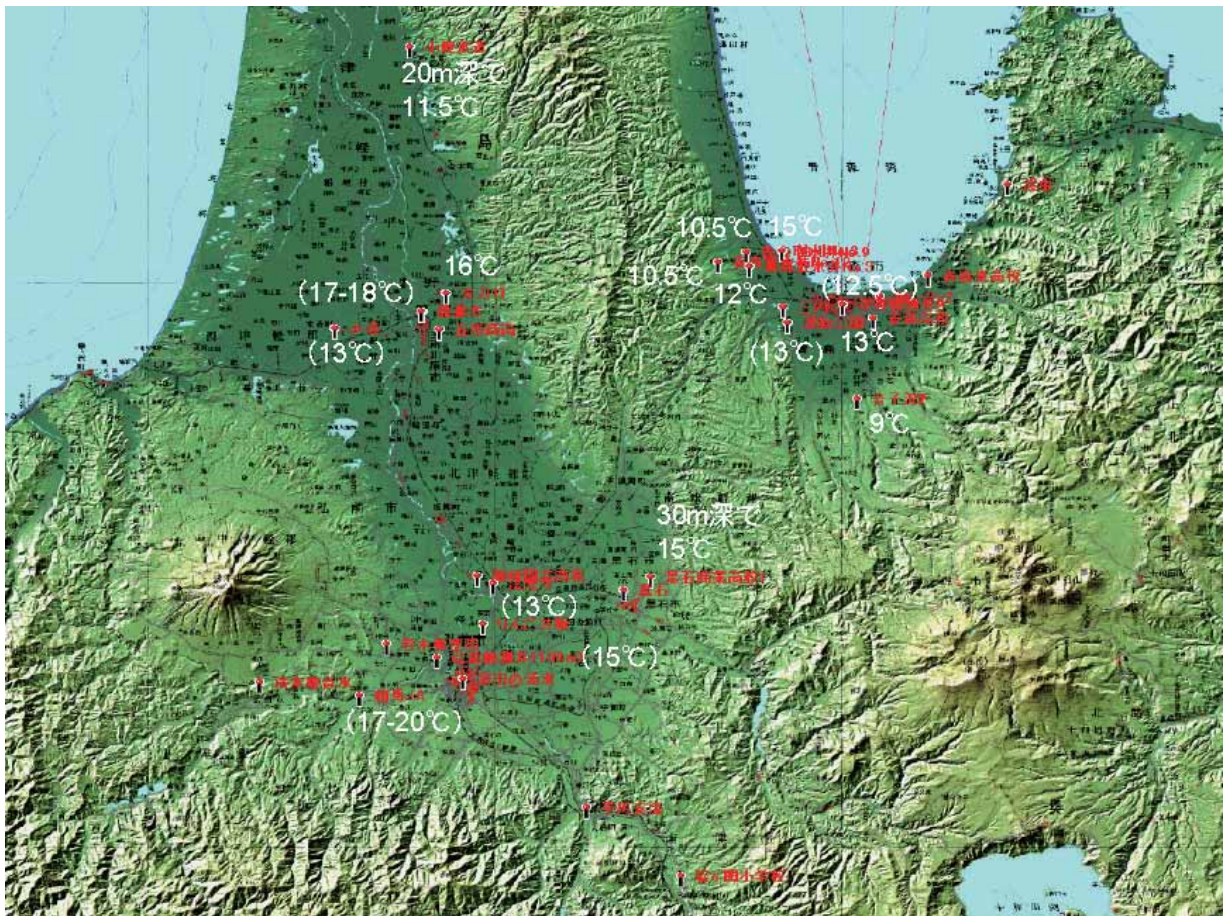


図 1 青森市周辺および弘前市～津軽平野における地下水調査地点
白字は、50m 深度における温度の測定値 (カッコ内の数値は、他深度温度からの推定値)

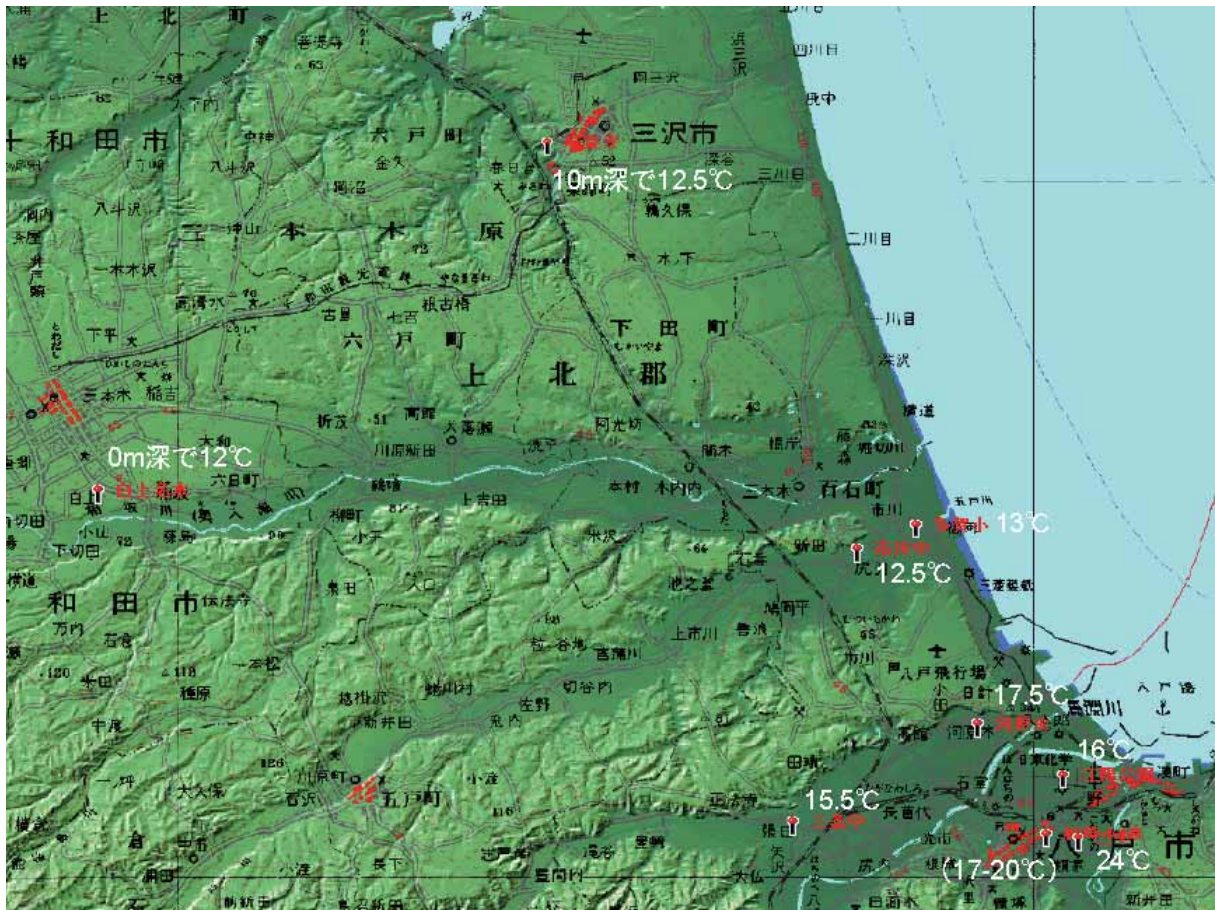


図2 八戸市周辺における地下水調査地点
 白字は、50m深度における温度の測定値（カッコ内の数値は、他深度温度からの推定値）

1.1 温度調査結果のまとめ

図1、2に示される通り、50m深の温度は、青森周辺で9～15℃、弘前周辺（～津軽平野）で15～18℃、八戸周辺で13～17℃（三中では例外的に24℃）となっており、弘前、八戸に比べて、青森は温度が低い。この傾向は、図3の鉛直温度プロファイルからも読み取ることができる。青森市、弘前市、八戸市の年平均気温はいずれも10.0～10.1℃と殆ど違いがないことから、地下温度の差は、地下水が涵養域から流出域へ移動する間における、地下深部からの温められ方の違いによると考えられる。

青森での温度が全体的に低いのは、分水嶺から海までの距離が短く、地下水の滞留時間が短いため、十分に温められないまま海に流出することによると考えられる。青森周辺、弘前周辺では、概して山地に比べて海沿いのほうが温度が高い。これは平野を流れる地下水について一般的な現象である。

八戸周辺はデータが少なく、とくに山地のデータが得られなかったため、この現象が確認できなかった。ただし、八戸地域は、青森や弘前周辺のような平野の形を呈しておらず、何本か流れる川沿いに狭い平地が存在しているため、水系ごとに温度特性が異なり、内陸と海岸域での違いが明瞭でない可能性がある。現に、馬淵川水系に比べ、奥入瀬川水系のほうが温度が低く、海岸付近でも13℃しかない。

弘前周辺で特に温度の高い、北地方、相馬 JA、弘前観測井で採取した水は、電気伝導度や溶存成分濃度が高いこと等から、近くの温泉の影響が現れたと考えられる（表1）。同じく八戸周辺で例外的に温度が高い三中も、電気伝導度が極めて高く、温泉の影響と考えられる。

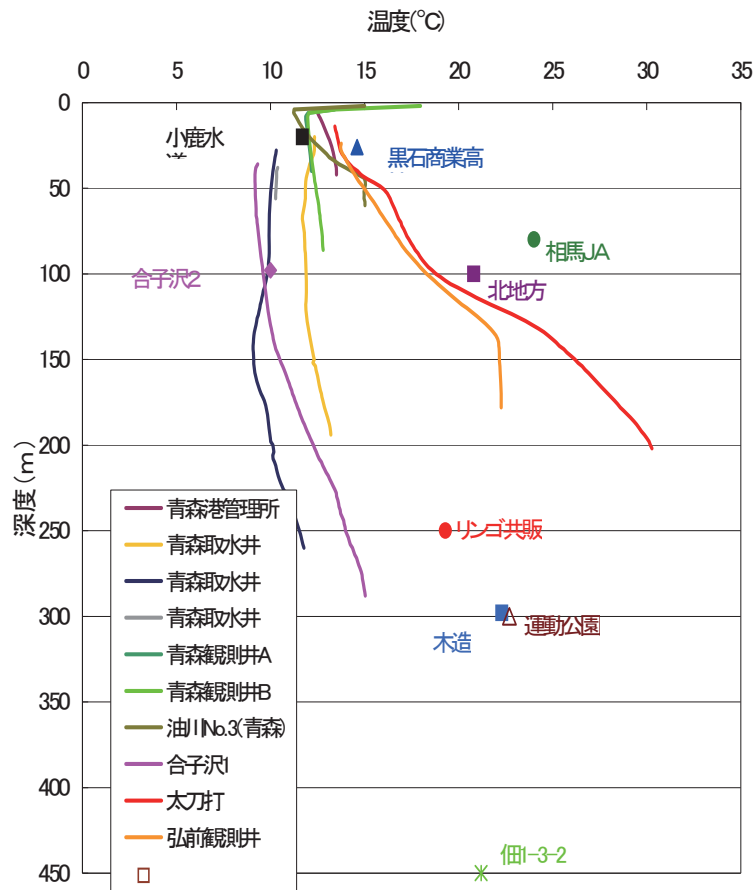


図 3 (a) 青森市周辺および弘前市〜津軽平野における地下温度プロファイル

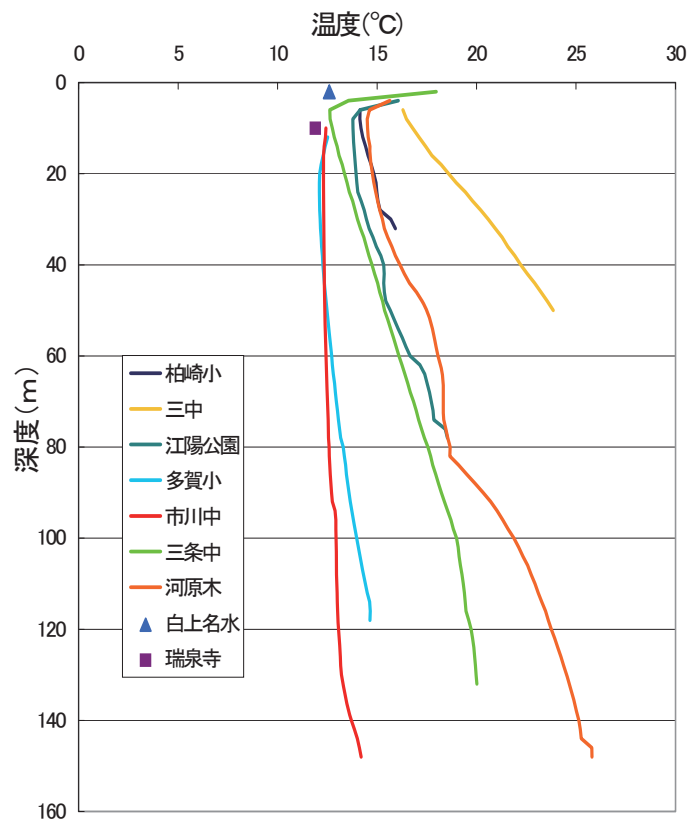


図 3 (b) 八戸市周辺における地下温度プロファイル

表1 各採水場所でのサンプルの一般水質等調査結果（前半）

| | 地点名 | 調査日 | 緯度 | 経度 | 水温 ℃ | 電気伝 導率 μS/cm | pH | F ⁻ mg/L | Cl ⁻ mg/L | NO ₂ ⁻ mg/L | Br ⁻ mg/L | NO ₃ ⁻ mg/L |
|--------|--------------|-------|--------|--------|---------|--------------------|-----|------------------------|-------------------------|--------------------------------------|-------------------------|--------------------------------------|
| 青森地区 | 青森取水井 No. 12 | 9.28 | 40.84 | 140.66 | 11.0 | 150 | 7.8 | 0.1 | 15.8 | 0.0 | 0.0 | 0.4 |
| | 青森取水井 No. 9 | 9.28 | 40.85 | 140.68 | 15.4 | 160 | 8.0 | 0.1 | 18.0 | 0.0 | 0.0 | 0.3 |
| | 青森取水井 No. 3 | 9.28 | 40.84 | 140.68 | 9.2 | 94 | 7.4 | 0.0 | 18.3 | 0.0 | 0.0 | 0.3 |
| | 油川 No. 3 | 7.12 | 40.85 | 140.70 | 13.7 | 269 | 8.3 | 0.1 | 54.1 | 0.0 | 0.2 | 0.0 |
| | 三内 | 7.12 | 40.82 | 140.70 | 17.5 | 128 | 8.5 | 0.1 | 13.9 | 0.0 | 0.0 | 0.2 |
| | 運動公園 | 7.12 | 40.81 | 140.71 | 22.7 | 147 | 8.2 | 0.2 | 14.4 | 0.0 | 0.0 | 0.2 |
| | 青森観測井 A | 9.27 | 40.82 | 140.75 | 12.4 | 337 | 8.6 | 0.3 | 43.5 | 0.3 | 0.1 | 0.4 |
| | 青森観測井 B | 9.27 | 40.82 | 140.75 | 12.5 | 219 | 7.5 | 0.3 | 11.6 | 0.0 | 0.0 | 0.0 |
| | 合子沢 1 | 9.27 | 40.76 | 140.76 | 10.5 | 60 | 9.9 | 0.1 | 13.2 | 0.0 | 0.0 | 0.0 |
| | 合子沢 2 | 9.27 | 40.76 | 140.76 | 10.0 | 91 | 9.5 | 0.0 | 20.8 | 0.0 | 0.0 | 0.0 |
| | 青森高校 | 7.12 | 40.81 | 140.77 | 18.5 | 172 | 7.4 | 0.1 | 11.2 | 0.0 | 0.0 | 0.0 |
| | 佃 1-3-2 | 9.27 | 40.82 | 140.77 | 21.2 | 358 | 7.3 | 0.4 | 64.0 | 0.1 | 0.1 | 0.0 |
| | 青森東高校 | 7.9 | 40.83 | 140.81 | | | | | | | | |
| | 浅虫 | 7.9 | 40.89 | 140.87 | 15.8 | 152 | 7.1 | 0.0 | 22.8 | 0.0 | 0.1 | 0.3 |
| 津軽平野 | 木造 | 9.27 | 40.80 | 140.38 | 22.3 | 471 | 8.7 | 0.7 | 70.4 | 0.0 | 0.2 | 0.0 |
| | 相馬 J A | 7.11 | 40.59 | 140.40 | 24.0 | 321 | 8.4 | 0.2 | 37.3 | 0.0 | 0.1 | 0.0 |
| | 岩木郵便局 | 7.11 | 40.62 | 140.42 | 19.1 | 864 | 8.3 | 0.7 | 137.1 | 0.4 | 0.5 | 0.0 |
| | 小鹿水道 | 7.10 | 40.97 | 140.43 | 11.7 | 286 | 6.2 | 0.0 | 44.6 | 0.0 | 0.2 | 50.0 |
| | 労金 | 7.10 | 40.81 | 140.44 | 16.6 | 477 | 7.4 | 0.9 | 32.7 | 0.0 | 0.1 | 0.0 |
| | 北地方 | 7.10 | 40.81 | 140.44 | 21.8 | 2,082 | 8.4 | 1.2 | 492.6 | 0.0 | 1.4 | 0.0 |
| | 五十嵐米店 | 7.10 | | | 14.0 | 419 | 7.0 | 0.1 | 50.5 | 0.0 | 0.1 | 18.4 |
| | 黒石商業高校 2 | 7.10 | | | 14.6 | 143 | 6.5 | 0.0 | 14.3 | 0.0 | 0.0 | 10.6 |
| | 清水観音水 | 7.11 | | | 11.0 | 149 | 6.8 | 0.0 | 15.1 | 0.0 | 0.0 | 25.8 |
| | 弘前観測井 131m | 7.11 | | | 21.6 | 191 | 8.7 | 0.1 | 10.2 | 0.1 | 0.0 | 0.0 |
| | 弘前観測井 108m | 7.11 | 40.61 | 140.45 | 19.1 | 214 | 8.7 | 0.1 | 10.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 |
| | 五所商高 | 7.10 | 40.80 | 140.45 | 17.2 | 690 | 8.2 | 1.5 | 161.0 | 0.0 | 0.5 | 0.0 |
| | 太刀打 | 9.27 | 40.82 | 140.46 | 16.2 | 345 | 6.8 | 0.1 | 26.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 |
| | 富田の湧水 | 7.11 | 40.60 | 140.47 | 14.5 | 214 | 6.6 | 0.0 | 34.6 | 0.0 | 0.1 | 17.0 |
| | りんご共販 | 7.11 | 40.63 | 140.49 | 19.3 | 246 | 8.8 | 0.9 | 17.5 | 0.2 | 0.0 | 0.3 |
| | 法光寺 | 7.10 | 40.65 | 140.49 | 11.8 | 130 | 6.8 | 0.1 | 12.4 | 0.0 | 0.0 | 10.6 |
| | 平川支流 | 7.11 | 40.52 | 140.56 | 15.8 | 79 | 7.8 | 0.0 | 7.1 | 0.0 | 0.0 | 1.7 |
| | 黒石 | 7.10 | 40.65 | 140.59 | | 112 | 7.7 | 0.2 | 11.4 | 0.0 | 0.0 | 0.0 |
| | 黒石商業高校 1 | 7.10 | 40.66 | 140.61 | | 107 | 7.6 | 0.2 | 11.3 | 0.0 | 0.0 | 0.8 |
| 碓ヶ関小学校 | 7.11 | 40.48 | 140.63 | | | | | | | | | |
| 八戸地区 | 白上名水 | 9.26 | 40.59 | 141.22 | 12.6 | 196 | 6.6 | 0.0 | 16.9 | 0.0 | 0.0 | 38.0 |
| | 瑞泉寺 | 9.26 | 40.68 | 141.35 | 11.9 | 254 | 7.3 | 0.0 | 27.3 | 0.0 | 0.1 | 28.2 |
| | 三条中 | 9.26 | 40.51 | 141.43 | 13.8 | 307 | 9.3 | 0.3 | 17.2 | 0.0 | 0.0 | 0.1 |
| | 市川中 | 9.26 | 40.58 | 141.44 | 12.7 | 149 | 7.5 | 0.2 | 12.6 | 0.0 | 0.0 | 0.0 |
| | 河原木 | 9.26 | 40.54 | 141.48 | 15.2 | 177 | 8.8 | 0.1 | 6.8 | 0.0 | 0.0 | 0.0 |
| | 柏崎小 4A | 9.25 | 40.51 | 141.50 | 15.4 | 474 | 7.7 | 0.1 | 21.3 | 0.0 | 0.0 | 0.0 |
| | 柏崎小 4B | 9.25 | 40.51 | 141.50 | 15.7 | 793 | 7.4 | 0.1 | 92.1 | 0.0 | 0.0 | 0.0 |
| | 江陽公園 | 9.25 | 40.53 | 141.50 | 14.7 | 1,060 | 9.7 | 0.1 | 388.9 | 0.0 | 0.5 | 0.5 |
| | 三中 | 9.25 | 40.51 | 141.51 | 18.7 | 1,808 | 9.1 | 0.2 | 478.8 | 0.0 | 1.1 | 0.0 |

注) ECは、電気伝導度

表1 各採水場所でのサンプルの一般水質等調査結果（後半）

| 地点名 | SO ₄ ²⁻ mg/L | PO ₄ ³⁻ mg/L | Na ⁺ mg/L | NH ₄ ⁺ mg/L | K ⁺ mg/L | Mg ²⁺ mg/L | Ca ²⁺ mg/L | δ ¹⁸ O ‰ | δ D ‰ | 炭素 14 年代 | 水位 m | サンプリ ング深度 m |
|-------------|---------------------------------------|---------------------------------------|-------------------------|--------------------------------------|------------------------|--------------------------|--------------------------|------------------------|----------|-------------|---------|-------------------|
| 青森取水井 No.12 | 8.4 | 0.0 | 15.0 | 0.0 | 2.1 | 4.2 | 24.2 | | | | 36.3 | |
| 青森取水井 No.9 | 7.2 | 0.0 | 24.6 | 0.0 | 1.5 | 3.4 | 16.8 | | | 8,205 | 18.1 | |
| 青森取水井 No.3 | 4.7 | 0.0 | 13.5 | 0.0 | 2.2 | 2.4 | 11.9 | | | | 2.8 | |
| 油川 No.3 | 1.3 | 0.3 | 39.5 | 3.1 | 5.0 | 19.5 | -3.3 | | | | | |
| 三内 | 2.7 | 0.1 | 11.5 | | 1.4 | 4.2 | 11.7 | | | | 0.7 | |
| 運動公園 | 5.0 | 0.0 | 14.1 | | 1.5 | 4.0 | 11.4 | -10.4 | -64.2 | | | |
| 青森観測井 A | 0.2 | 0.4 | 53.6 | 5.1 | 10.7 | 10.6 | 21.8 | -11.0 | -67.4 | | 2.2 | 33 |
| 青森観測井 B | 0.0 | 0.0 | 23.8 | 4.1 | 8.2 | 10.5 | 15.6 | -11.4 | -71.5 | | 1.6 | |
| 合子沢 1 | 0.2 | 0.0 | 13.8 | 0.0 | 1.9 | 0.1 | 1.4 | -10.8 | -65.7 | | 34.9 | 250 |
| 合子沢 2 | 3.1 | 0.0 | 14.2 | 0.0 | 3.6 | 1.6 | 8.8 | -10.8 | -63.8 | 990 | 20.3 | 100 |
| 青森高校 | 0.8 | 0.6 | 19.8 | | 2.7 | 6.8 | 10.1 | -11.1 | -68.2 | | | |
| 佃 1-3-2 | 17.7 | 0.0 | 49.1 | 4.5 | 4.9 | 5.4 | 14.0 | -12.1 | -75.7 | 15,980 | 0.2 | |
| 青森東高校 | | | | | | | | | | | 2.0 | |
| 浅虫 | 18.5 | 0.0 | 16.4 | | 1.4 | 3.6 | 12.5 | | | | 3.2 | |
| 木造 | 4.0 | 0.0 | 100.9 | 0.0 | 3.2 | 1.3 | 9.0 | | | | 13.1 | |
| 相馬JA | 17.5 | 0.4 | 43.6 | | 2.5 | 4.2 | 12.9 | -11.0 | -70.2 | | | |
| 岩木郵便局 | 8.8 | 0.1 | 181.7 | | 8.7 | 5.4 | 14.3 | | | | | |
| 小鹿水道 | 21.4 | 0.4 | 30.7 | | 3.8 | 13.2 | 19.2 | | | | >3m | |
| 労金 | 0.0 | 0.8 | 107.6 | | 6.8 | 4.7 | 10.6 | | | | | |
| 北地方 | 0.0 | 0.1 | 372.1 | | 20.4 | 3.5 | 9.7 | -10.8 | -70.3 | | | |
| 五十嵐米店 | 24.1 | 4.0 | 41.5 | | 32.7 | 7.7 | 33.1 | -10.5 | -65.6 | | 4.8 | |
| 黒石商業高校 2 | 13.8 | 0.1 | 11.5 | | 1.6 | 4.5 | 17.7 | -10 | -62.5 | | 1.3 | |
| 清水観音水 | 7.8 | 0.1 | 13.9 | | 2.8 | 6.3 | 14.8 | | | | | |
| 弘前観測井 131m | 1.1 | 0.4 | 15.5 | | 2.6 | 6.3 | 23.4 | -10.8 | -69.3 | | 23.4 | |
| 弘前観測井 108m | 0.9 | 0.8 | 15.3 | | 2.6 | 6.3 | 23.5 | -10.7 | -69.0 | | 23.4 | |
| 五所商高 | 0.0 | 0.2 | 150.4 | | 9.0 | 1.2 | 4.8 | | | | | |
| 太刀打 | 0.0 | 0.0 | 33.7 | 3.2 | 6.7 | 10.4 | 18.2 | -10.0 | -60.3 | 3,340 | 12.4 | 200m? |
| 富田の湧水 | 23.5 | 0.2 | 20.2 | | 3.5 | 6.7 | 16.6 | -10.7 | -68.3 | | 自噴 | |
| りんご共販 | 2.0 | 0.1 | 56.2 | | 2.6 | 0.2 | 3.3 | -11.5 | -73.8 | | | |
| 法光寺 | 6.9 | 6.5 | 10.7 | | 14.7 | 1.4 | 13.6 | | | | | |
| 平川支流 | 5.7 | 0.1 | 7.5 | | 1.2 | 3.1 | 7.9 | -10.8 | -68.0 | | | |
| 黒石 | 0.5 | 0.8 | 12.5 | | 1.2 | 5.5 | 8.6 | | | | | |
| 黒石商業高校 1 | 3.1 | 0.3 | 9.8 | | 1.4 | 5.1 | 8.7 | -10.6 | -64.9 | | | |
| 碓ヶ関小学校 | | | | | | | | | | | 0.4 | |
| 白上名水 | 27.2 | 0.0 | 18.8 | 0.0 | 2.6 | 6.0 | 23.5 | | | | 0 | |
| 瑞泉寺 | 13.7 | 0.0 | 18.3 | 0.0 | 2.2 | 14.0 | 32.1 | | | | 10m? | |
| 三条中 | 19.7 | 0.0 | 88.6 | 0.0 | 4.0 | 0.6 | 6.2 | | | 21,200 | 1.5 | 111 |
| 市川中 | 0.1 | 0.0 | 18.1 | 0.7 | 2.6 | 3.6 | 16.1 | | | | 9.4 | 124 |
| 河原木 | 0.0 | 0.0 | 41.9 | 0.0 | 1.8 | 0.9 | 8.1 | | | 8,715 | 3.2 | 69 |
| 柏崎小 4A | 0.1 | 0.0 | 15.9 | 2.0 | 12.5 | 8.2 | 93.5 | | | | 2.4 | 10 |
| 柏崎小 4B | 0.1 | 0.0 | 27.8 | 1.2 | 18.2 | 44.6 | 83.1 | | | | 5.0 | 30 |
| 江陽公園 | 0.4 | 0.0 | 208.6 | 0.6 | 21.8 | 9.9 | 24.0 | | | | 3.5 | 70 |
| 三中 | 128.7 | 0.0 | 412.5 | 0.0 | 10.5 | 7.6 | 14.1 | | | | 4.2 | 91 |

注) Li⁺濃度も測定した。北地方で 10.1 mg/L であった以外は全て 0.0 mg/L。
2008. 7. 12 に青森港管理所にて水位のみ測定したところ、1.7m であった。

1.2 八戸地区の地下水水質

今回、八戸地区はシミュレーションの対象地区としなかったが、地下水水質調査をおこなったので、その成果をまとめる（表1および図4参照）。今回採取した地下水試料の水質は、おおむね以下の3つのパターンに分けられる。

- ①CaHCO₃型（白上名水、瑞泉寺、柏崎小4A、柏崎小4B）
- ②NaCl型（江陽公園、三中）
- ③NaHCO₃型（河原木、三条中）

我が国の一般的な浅層地下水の水質はCaHCO₃型であり、これは長石等の鉱物の溶解反応が関与されていると言われており、地質を反映した水質であると判断される。しかし、白上名水や瑞泉寺においては硝酸イオン濃度が高く、人為的影響が地下水の水質に現れている。硝酸イオン濃度は、両地点とも約30ppmとかなり高い。

NaCl型の地下水は海塩の影響が大きく受けたことを示している。海岸付近の地下水は風送塩の影響の可能性も考えられるが、江陽公園や三中は海岸から1km以上離れているにも関わらず、Cl⁻濃度は300ppmを超える。このような高いCl⁻濃度は風送塩で形成されたとは考えにくい。おそらく地下への塩水の浸入か、残留塩化物イオン（津軽平野の章参照）が起源となっているであろう。

NaHCO₃型はCaHCO₃型であった地下水が、イオン交換によって形成されたものと考えられる。元々塩水(NaCl)が存在していた場合、CaHCO₃型の地下水に置換されると、粘土鉱物中に吸着していたNa⁺が地下水中のCa²⁺とイオン交換して地下水中に放出される。NaHCO₃型はこのメカニズムによって形成されたと考えられる。

NaCl型を示す三中、江陽公園、そしてNaHCO₃型を示す三条中ではpHが9を超える。このような著しく高いpHは通常の水-鉱物反応や単なる海塩の付加では説明できないため、何らかの人為的な影響が加わっている可能性がある。また、これらの地下水の酸化還元電位が低いものがあることを考慮すると、メタン生成による水質変化の可能性もある。特に三条中の炭素14年代値が約21,000年を示した理由が、微生物活動による炭素14濃度（放射能）の希釈によるものなのか、それとも、イオン交換に実際に21,000年以上の年月を必要としているのか、を解明することは水文学的にも興味深い。

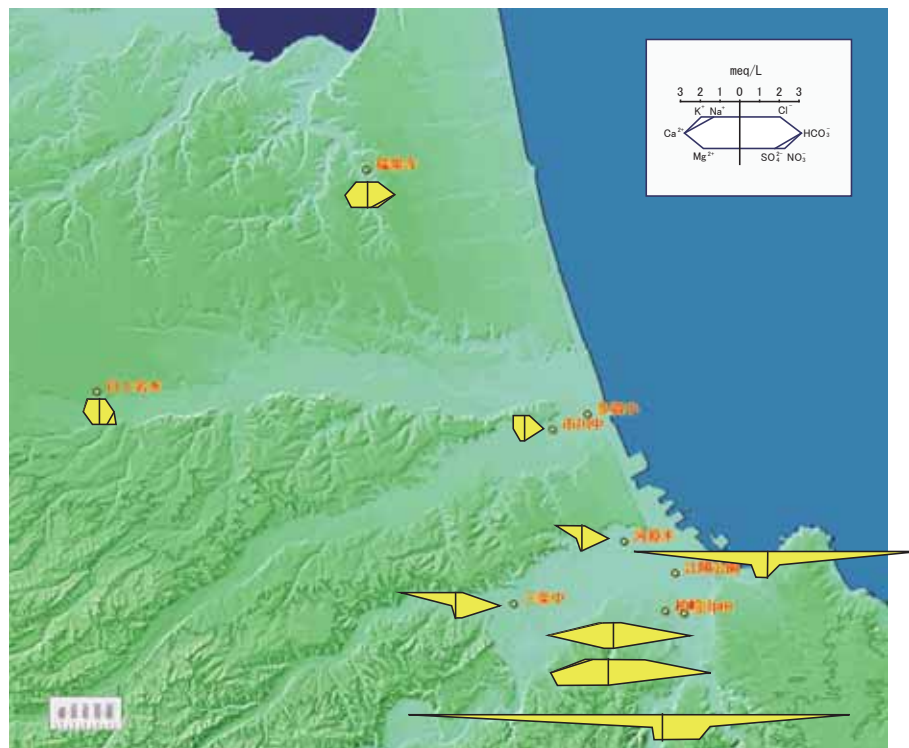


図4 八戸地区の地下水水質（ヘキサダイアグラム）

2. 広域地下水流動系の数値シミュレーション

地下浅部に帯水層が存在し、しかもその地下水の流速が高い場合、地中熱利用の採熱率に関わる有効熱伝導率に影響する可能性がある。新堀ほか（2002）によれば、地下水のダルシー流速（岩石中を均等に水が流れるとした場合の流速）が 10^{-6} m/s以上で有効熱伝導率に影響し、 10^{-5} m/s以上では流速ゼロの場合に比べ、必要な熱交換井の掘削長を短くできる可能性がある。田子ほか（2007）でも、同様な結果が得られている。地下水流速の高い場所では、採熱率が高く採熱の影響が拡散しやすいため、長期にわたって一方的に採熱を行うのに適している。一方、夏季に地下へ廃熱し冬季のために蓄熱するためには、地下水流速が低いほうが適している。

従って、青森県内の広域地下水流動系の数値シミュレーションを行い、流速の高い地域と低い地域の特定を行った。具体的には、青森市周辺の平野部および弘前市周辺から津軽平野にかけての2地域について、数値モデルを作成した。その結果を、以下の節に記す。

なお、八戸市周辺については、数値シミュレーションに利用できる既存の地質・地下データが極端に少なく地下物性が不明であること、また地形的に、いくつかの水系に分かれて細長い平地が存在するのみで、広域シミュレーションの結果によって地域性を述べるには不適である（急峻な場所では、わずかに離れた場所でも全く流速および流動方向が異なる可能性が高い。また2-1-1の地下温度調査の結果、河川によって流域の温度が異なることも示すように、河川ごとに独立した水系となっている）ことから、シミュレーションによる検討は行わなかった。

2.1 青森平野の地下水流動シミュレーション

2.1.1 概要

青森平野は、いわゆる沖積海岸平野で、その表層部には海成の沖積層が堆積している。平野東端部には野内川（のながわ）等の海岸扇状地堆積物、西南端部には荒川扇状地堆積物、中央部および西部には堤川の氾濫によって供給された自然堤防堆積物が発達している。津軽平野などと比較すると比較的狭い流域であるが、多くの地域と同様に本流域においても地下水流動シミュレーションを行うための十分なデータは存在しない。

冒頭でも述べたが、今回の広域地下水流動シミュレーションの最終目的は、地下水の流速分布を明らかにすることであり、そのためには、最適な地下水流動モデル（概念モデル）の構築を行わなくてはならない。概念モデルとは、一言でいえば『地下水流動シミュレーションを行うための計算条件』である。これを求めるために、以下では、現地調査および水質、同位体、シミュレーションといった手法と既存の資料を用いた解析を行った。

2.1.2 野外調査結果

(1) 水質調査結果

シミュレーションに先立ち、2007年9月～11月にかけて行われた、現地調査結果をまとめる。現地調査結果から得られる考察は、後述するシミュレーション結果を検証するために用いられる。図5は青森平野における水質調査結果を示したものである。ここでは地下水流動との関連を考慮し、合子沢－青森高校－青森観測井－佃1-3-2のラインに注目する。

合子沢はサンプリング深度（スクリーン89.5～111.5m）が約100mである。成分的にはアルカリ度ははじめとする各カチオン、アニオン濃度が低く、酸化還元電位（mV）が正の値を示している。したがって、合子沢の地下水は、比較的滞留時間が短いものであり、この地域はいわゆる涵養域に属すると推定される。一方、流域下流部にある佃1-3-2は井戸深450～500mであり、調査時の水頭は地表から-20cmの位置にあった。聞き込みによると、かつては自噴していたという話であるから流出域に属するであろう。このことは酸化還元電位が-300mV以下と還元性であり、溶存酸素が0.04mg/Lと低いことから推定されることである。

ダイヤグラムは合子沢で小さく、下流部の佃1-3-2に向かうにしたがい大きくなる。一般に地下水中の無機溶存成分は滞留時間に伴い増加するため、水質によっても山側（合子沢方面）から海側（佃方面）に向かう地下水流動が示唆される。

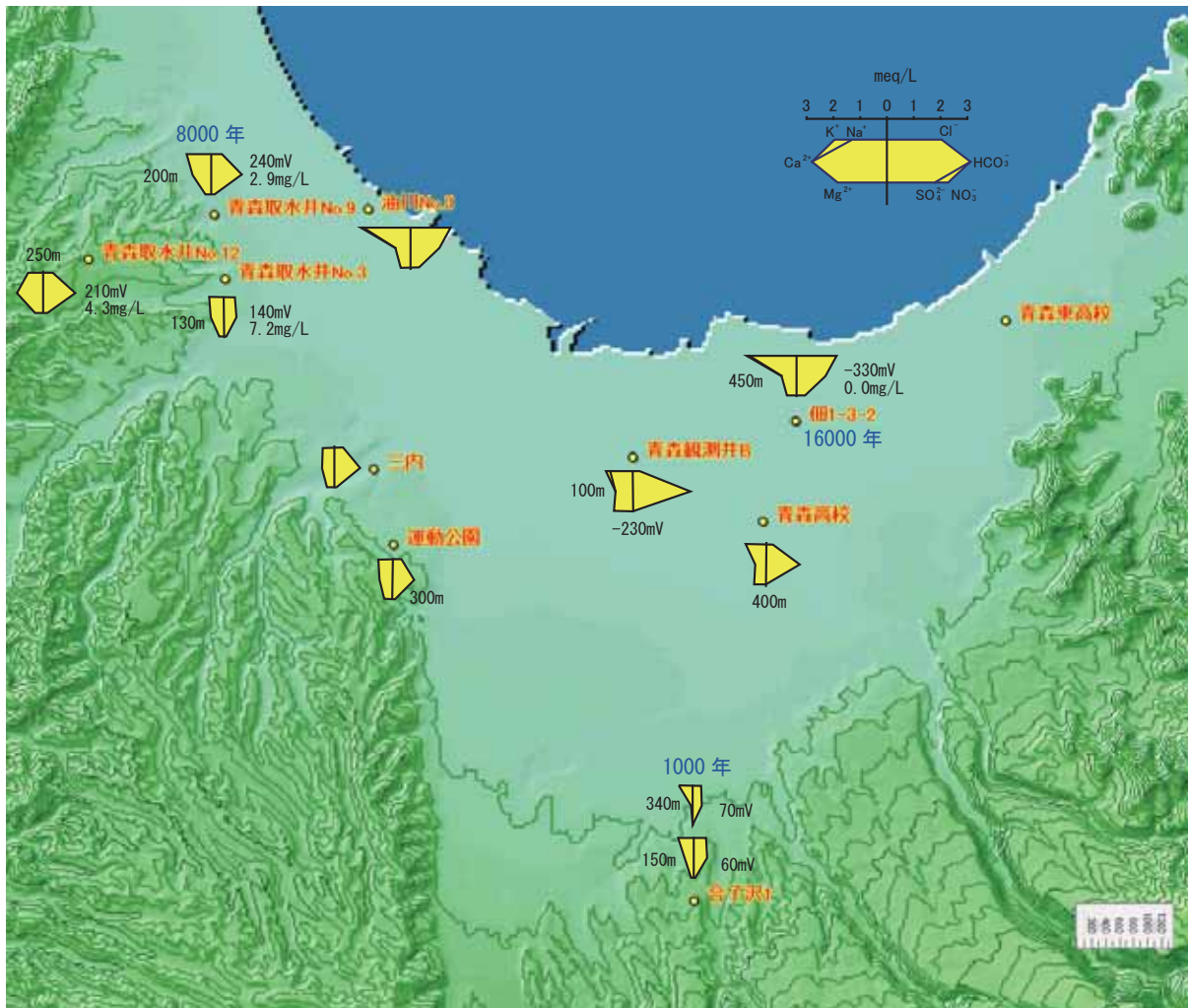


図5 水質調査結果:ヘキサダイアグラム

ダイアグラムの脇に書かれているのは、m は採水深度、mV は酸化還元電位、mg/L は溶存酸素濃度である。青字は炭素 14(放射能)濃度から計算された滞留時間(年代値)。

(2) 炭素 14 年代

地下水の炭素 14 年代測定地点は、佃 1-3-2、合子沢、青森取水井 No. 9 の 3 地点である。炭素 14 から得られた見かけの年代値は表 1 のようになった。佃 1-3-2 の年代値は約 16,000 年、合子沢は 1,000 年程度である。この結果は、温度プロファイルより推定される結果（合子沢が涵養域という結果）と水質より推定される結果（佃 1-3-2 は流出域という結果）と定性的には整合的である。

(3) 酸素・水素安定同位体比

表 1 の通り、佃 1-3-2 および青森観測井といった青森平野の深層地下水では、 $\delta^{18}O$ 値にして-11~-12‰の値が得られている。一方、青森平野南部の合子沢では、-10.7~-10.8‰である。合子沢にてスクリーン深度の異なる 2 つの井戸にてほぼ同じ結果が得られたことは、本地域が（温度プロファイルより）涵養域であることを考慮すると妥当な結果と言えよう。一方、佃 1-3-2 で得られた-12‰という数値は、高度効果を考慮すると、涵養域は少なくとも合子沢よりも上流側であることを示唆する。平野部の採水地点の全てで地下水が軽い同位体比を持つという事実は、これらの地点全体が地下水の流出域であることを示している。

2.1.3 モデルの作成

(1) 境界条件について

青森平野の深層地下水については、特に温泉利用面でデータが得られている。温泉は特に鮮新世蟹

田層、大沢層からは多量に採取されており、その下位に位置する中新統が基盤と考えられている（青森県環境保健部、1984）。しかしながら、津軽平野でのシミュレーションも同様であったが、中新統は必ずしも水文学的基盤とはなっていない可能性がある。したがって、ここでは中新統を水文学的基盤とした場合（この条件を便宜上、モデル A とする）と中新統以下を基盤とした場合（モデル B）の 2 つのパターンでシミュレーションを行い、両者を比較する、という方法をとることとする。

モデル A の前提に立つと、平野西部については、駒込川右岸の地表に中新統が認められることから（地質調査所、1993）、これを不透水境界として扱うことができるが、モデル B では地形的流域全てを含むことになる（後述する図 5 と図 6 参照）。また、平野東部には入内断層（にゅうないだんそう）が南北に走っている。この断層の水理学的役割については不明であるが、断層の東西で明瞭に水系網が分けられることを考慮すると、モデル A、モデル B 共に、これを不透水境界として扱うことができるであろう。

中新統の上面標高については、青森県環境保健部（1984）の地質断面図、青森県（1997）の温泉ボーリング柱状図、村岡・高倉（1988）を参考にして作成した。中新統上面標高の推定に用いたボーリングデータの位置を図 6 に、中新統上面標高分布図を図 7 に示す。八甲田系火山噴出物層については八甲田山麓の多くを覆っているが、その層厚は 100m~200m 程度（青森県環境保健部、1984）であり、村岡（私信）によると、これらは不透水性の火山灰を含みつつも、全体としては透水層として扱うべきであると考えられる。そこで、シミュレーションの南部の境界については八甲田山およびその周辺の尾根部までを含めることにした。

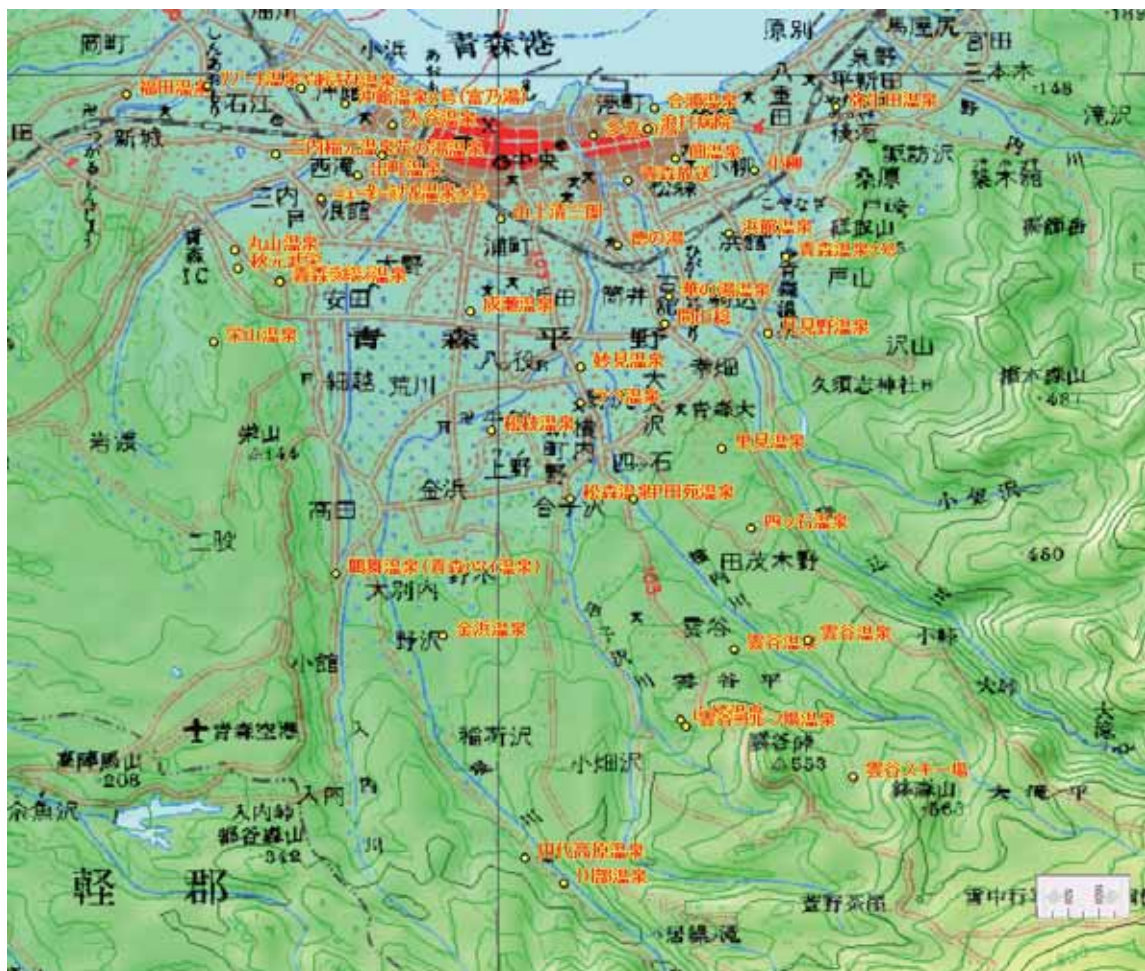


図 6 中新統上面標高の推定に用いたボーリングデータ

平野部においてはデータが密である一方、山麓部のデータは少ない。図には、基盤標高が判読できなかったものも含まれている。

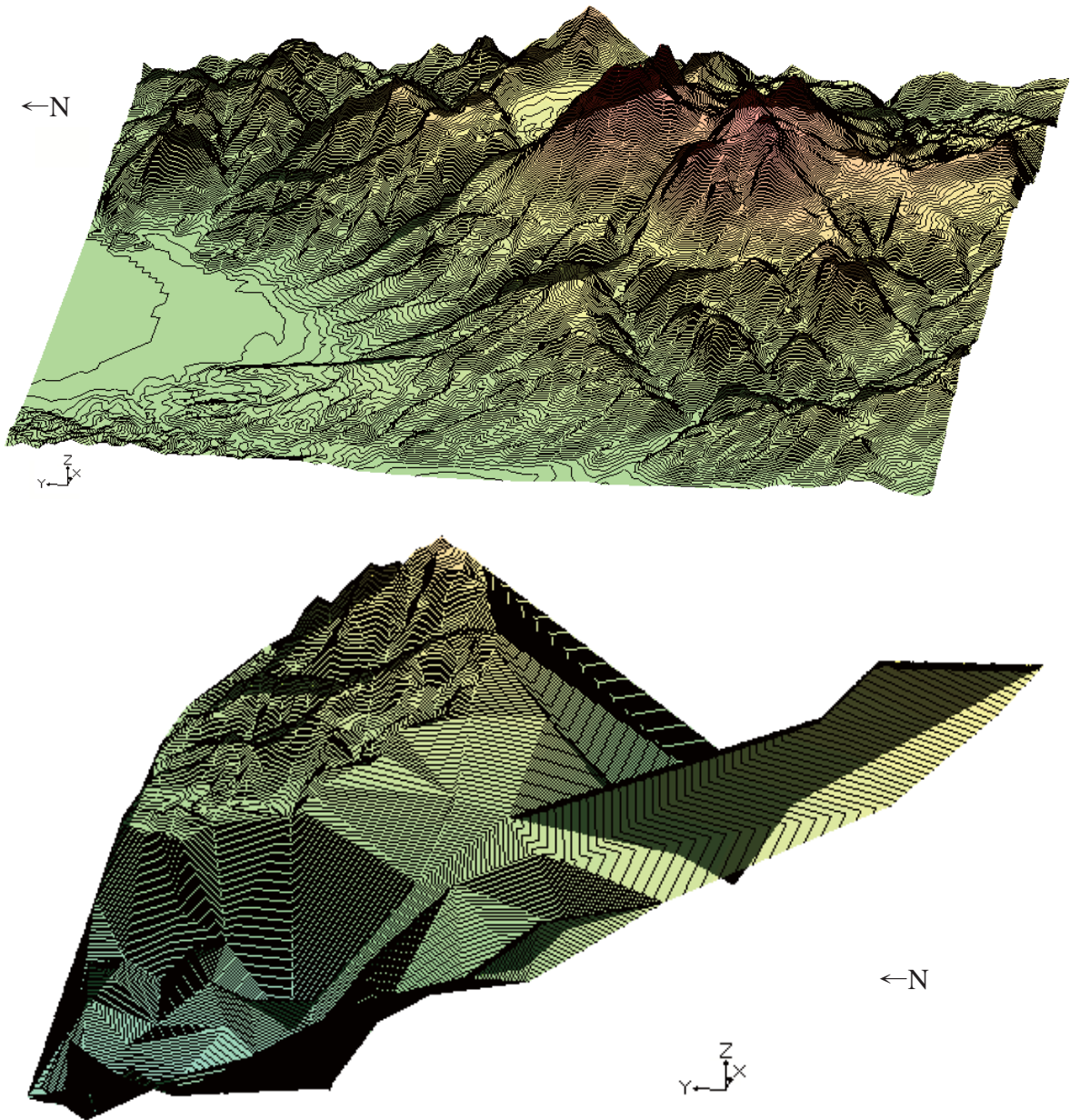


図7 地形(上)と中新統上面標高(下)。コンターは10m 間隔。

モデル A とモデル B の違いを示すために、両方の地下水流動モデルのイメージを図 8 に示す。モデル A とモデル B との大きな差は、中新統以下に透水性を与えたところである。例えば、モデル A では八甲田山の中腹にもたらされた降雨は、涵養されてある深度において中新統に到達した後、それ以上の下方移動を制限されて斜面を流下するようになる。この考えは、数枚の八甲田系火山噴出物が八甲田山斜面を覆っている事実を強調したものである。この場合、この火山噴出物にそって、丁度、地下水が“すべり台を流れるように”流下し、青森平野に注ぎ込んでいる、というイメージになる。モデル B では、降水の地下涵養後、中新統に到達した地下水はさらに下方へと移動することが可能となる。このモデルでは、活動中の火山では、火山体の基盤部分もある程度破碎されており、地下水が下方に移動可能であることをイメージしている。この考えは、活動中の火山の地下水流動モデルとしてはスタンダードなものではないかと思われる。このモデルでは中新統の上部を含む地形上面を全て透水性のよい地層で覆った。これは現実には表土の部分に対応するものである。

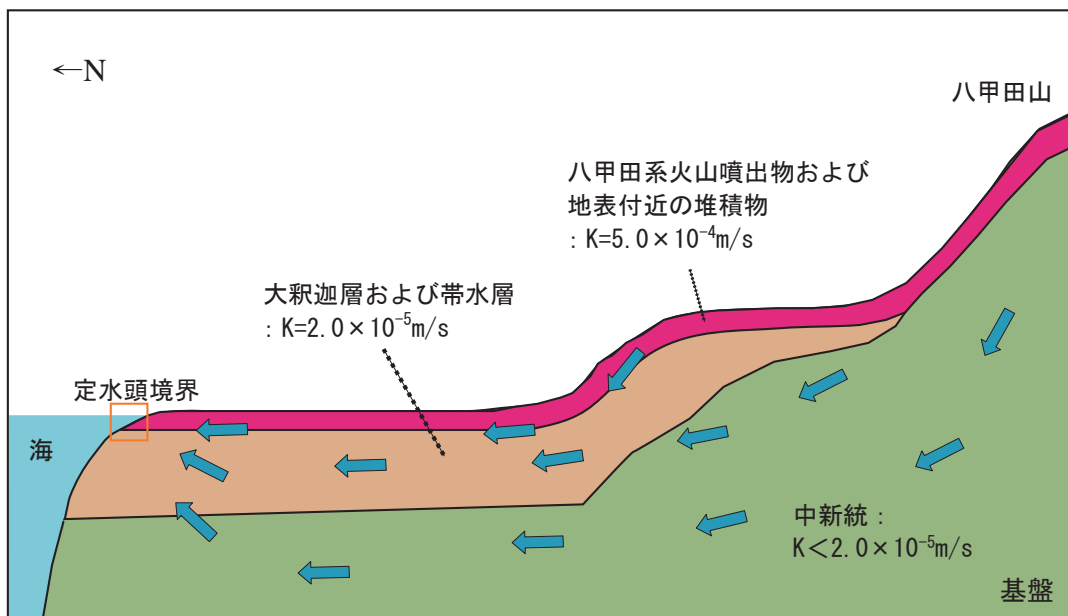
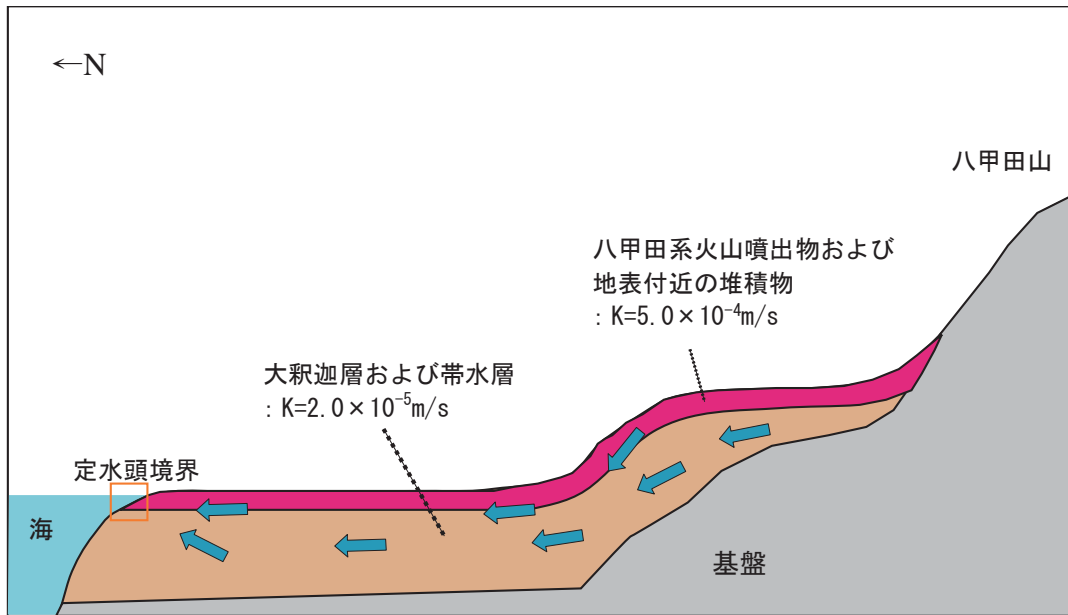


図8 モデルAとモデルBの違い

(2) 透水係数および計算レイヤー

青森県環境保健部（1984）によると、青森平野の温泉包蔵帯における透水係数は、

- ・やまびこ温泉（深度700m：大釈迦層基底付近）： $1.65 \times 10^{-5} \text{m/s}$
- ・青森放送源泉（深度460m：田代平熔結凝灰岩—岡町層互層）： $7.7 \times 10^{-5} \text{m/s}$
- ・青森ガス水源井（深度不明）： $7.1 \times 10^{-5} \text{m/s}$

となっている。このように深層にしては透水性が高いようにも思われるが、大釈迦層は中粒～粗粒砂層であるから、決して的外れな値ではない。これらのデータから、青森平野における沖積世～大釈迦層の間の透水係数は平均 $2.0 \times 10^{-5} \text{m/s}$ 程度であると推定される。

(3) 計算条件

モデルAの計算メッシュを図9に示す。詳細は以下の通りである。

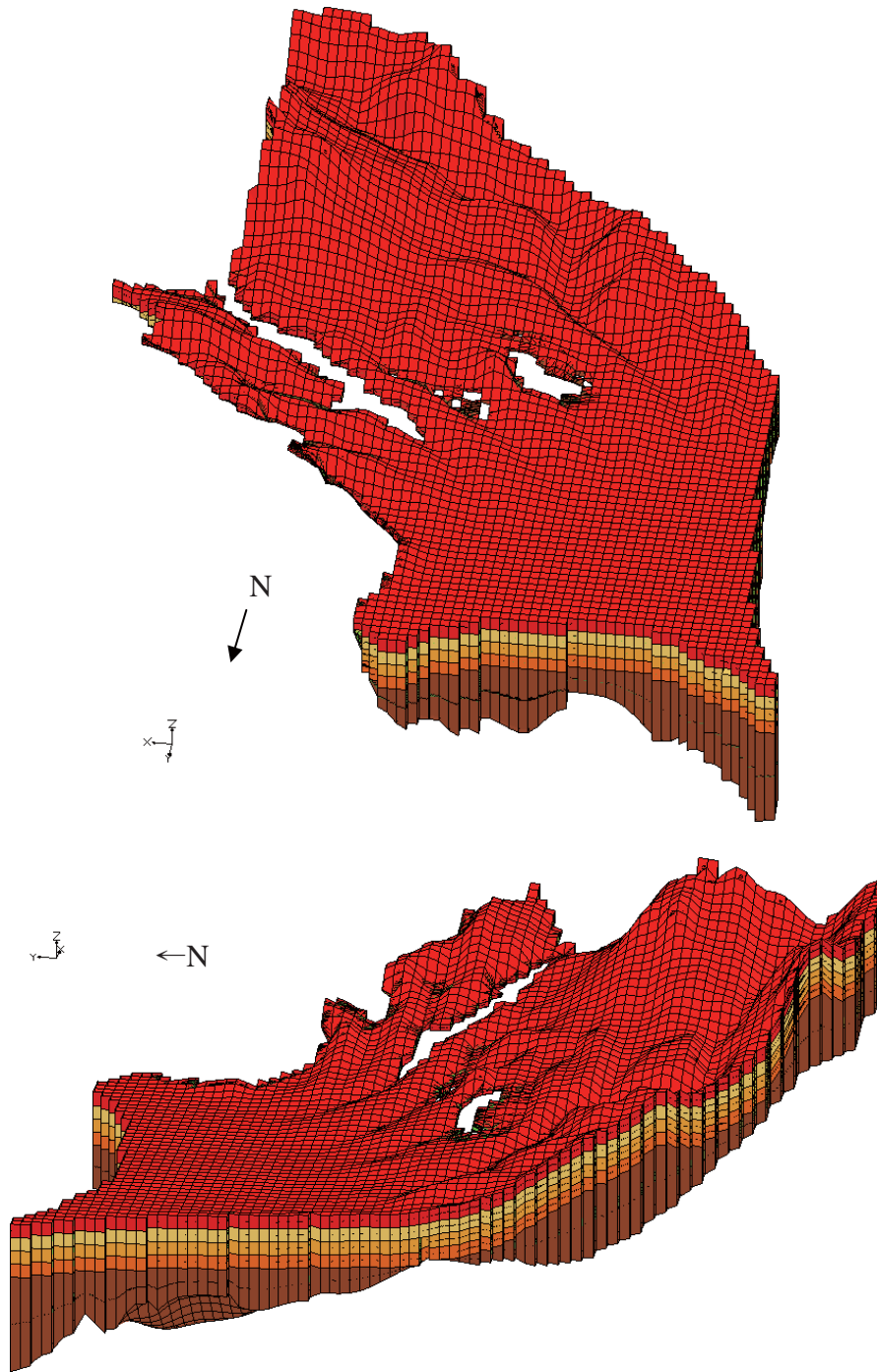


図9 計算領域(モデルA)

上図は青森平野を北東より、下図は西から見た鳥瞰図。表層の赤色の層が八甲田火山噴出物。流域東部の高標高地域では、薄い火山噴出物層が不透水層の上部を覆っている。平野部では中新統の上面標高が低くなる。

・境界条件

- 北部：海岸線を定水頭 ($h=0$) と設定 (h は水頭)
- 西部：入内断層を不透水境界と設定
- 東部：駒込川右岸を不透水境界と設定
- 南部：折紙山～七十森山～八甲田山～上岳尾根部を不透水境界と設定
- 涵養量：年間約 300mm

・計算レイヤー

5層モデルで基盤面は中新統上面を想定。第1層から第4層の層厚は基本的には100mとしたが、基底面の標高により薄くなっている領域がある。一方、第5層は基底部までの距離によって厚くなっている領域がある（最大500m程度）。透水係数については第1層に $K=5.0 \times 10^{-4} \text{m/s}$ 、第2層から第5層に $K=2.0 \times 10^{-5} \text{m/s}$ を与えた。また、異方性は一律 $K_h/K_v=3.0$ とした (K_h は水平方向透水係数、 K_v は垂直方向透水係数)。間隙率は全ての層で0.3である。

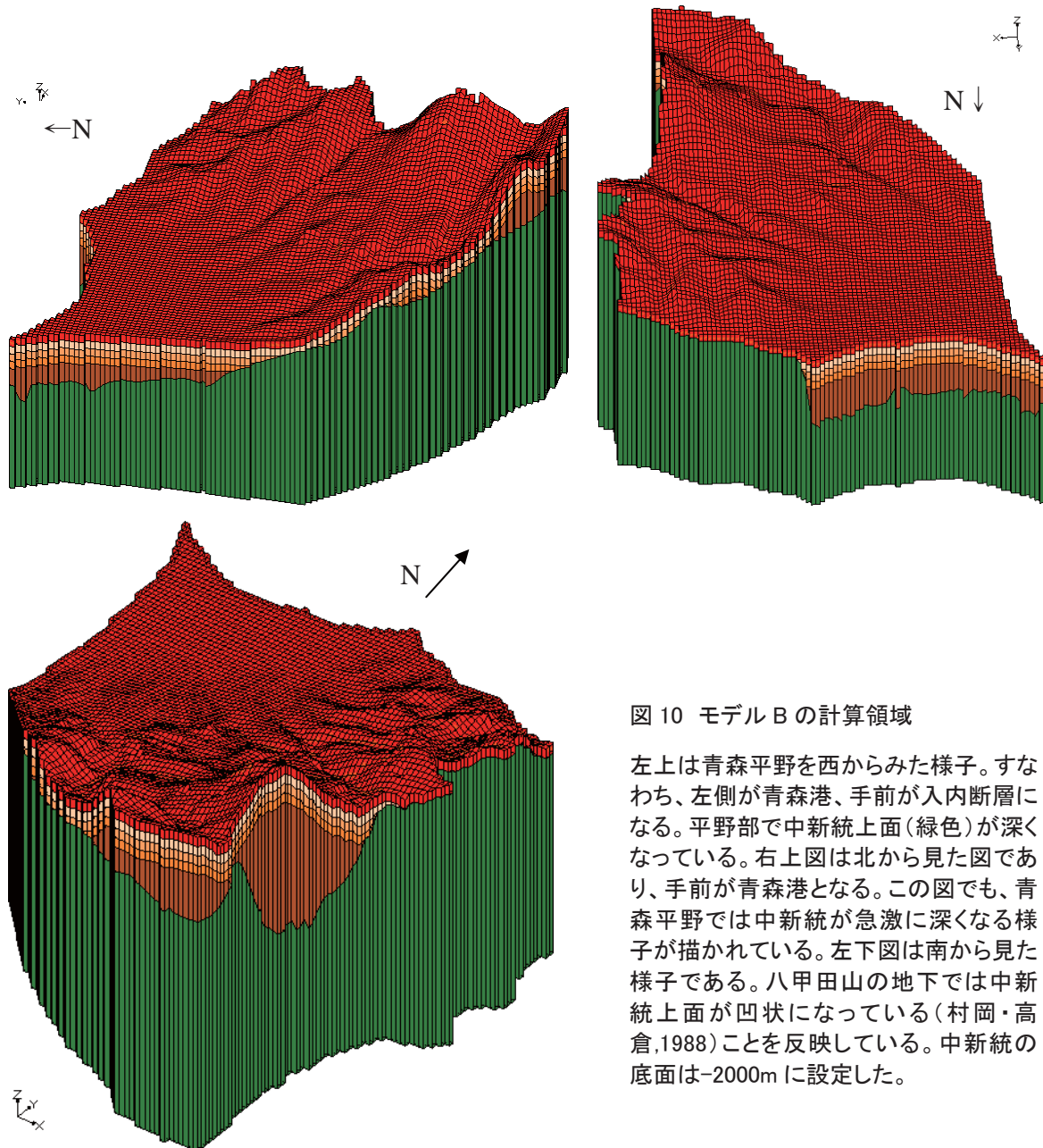


図10 モデルBの計算領域

左上は青森平野を西からみた様子。すなわち、左側が青森港、手前が入内断層になる。平野部で中新統上面(緑色)が深くなっている。右上図は北から見た図であり、手前が青森港となる。この図でも、青森平野では中新統が急激に深くなる様子が描かれている。左下図は南から見た様子である。八甲田山の地下では中新統上面が凹状になっている(村岡・高倉,1988)ことを反映している。中新統の底面は-2000mに設定した。

モデルBの計算メッシュを図10に示す。詳細は以下の通りである。

・境界条件

- 北部：海岸線を定水頭 ($h=0$) と設定
- 西部：入内断層を不透水境界と設定
- 東部：地形的境界を不透水境界と設定
- 南部：折紙山～七十森山～八甲田山～上岳尾根部を不透水境界と設定

涵養量：年間約 300mm

・計算レイヤー

6層モデルで基盤面は全ての領域で-2000mに設定した。第1層から第5層の層厚は基本的には100mとしたが、基底面の標高により薄くなっている場合がある。第6層の厚さは基底部までの距離により厚くなっている領域がある(最大500m程度)。透水係数については第1層と第2層に $K=5.0 \times 10^{-5} \text{m/s}$ 、第3層から第5層までに $K=2.0 \times 10^{-5} \text{m/s}$ 、第6層については $K=1.0 \times 10^{-6} \text{m/s}$ 、異方性は第1～第5層が $K_h/K_v=3.0$ 、第6層が1.0である。間隙率は一律0.3である。

2.1.4 計算結果

(1) モデル A

計算結果を図11に示す。図では上が青森港側、下が八甲田山側である。図11で示されたデータは第4層の水頭計算値であり、コンターは10m間隔で描いた。八甲田山麓のセルの多くは△(赤色)が書かれている。これは地下水位が第4層よりも下部にあることを意味する。

計算によると、八甲田山麓では地下水の流れが速く、平野部に入ったとたんに急激に遅くなり、平野部全体は浅い池もしくは湿地のような状態となっている。これは『八甲田山麓で集められた水が、平野部に向かって流れ込み、平野部の厚い地下水包蔵帯に地下水が貯留されて、水浸しの状態になっている』というイメージが当てはまるであろう。このイメージはモデルBでも同様である。計算結果を断面で見ると(図12)、平野部にて上向きおよび横向きの地下水の流れが認められる。特に平野北部は深層地下水の流出域となっており、これは佃1-3-2が被圧されているという事実と整合的である。

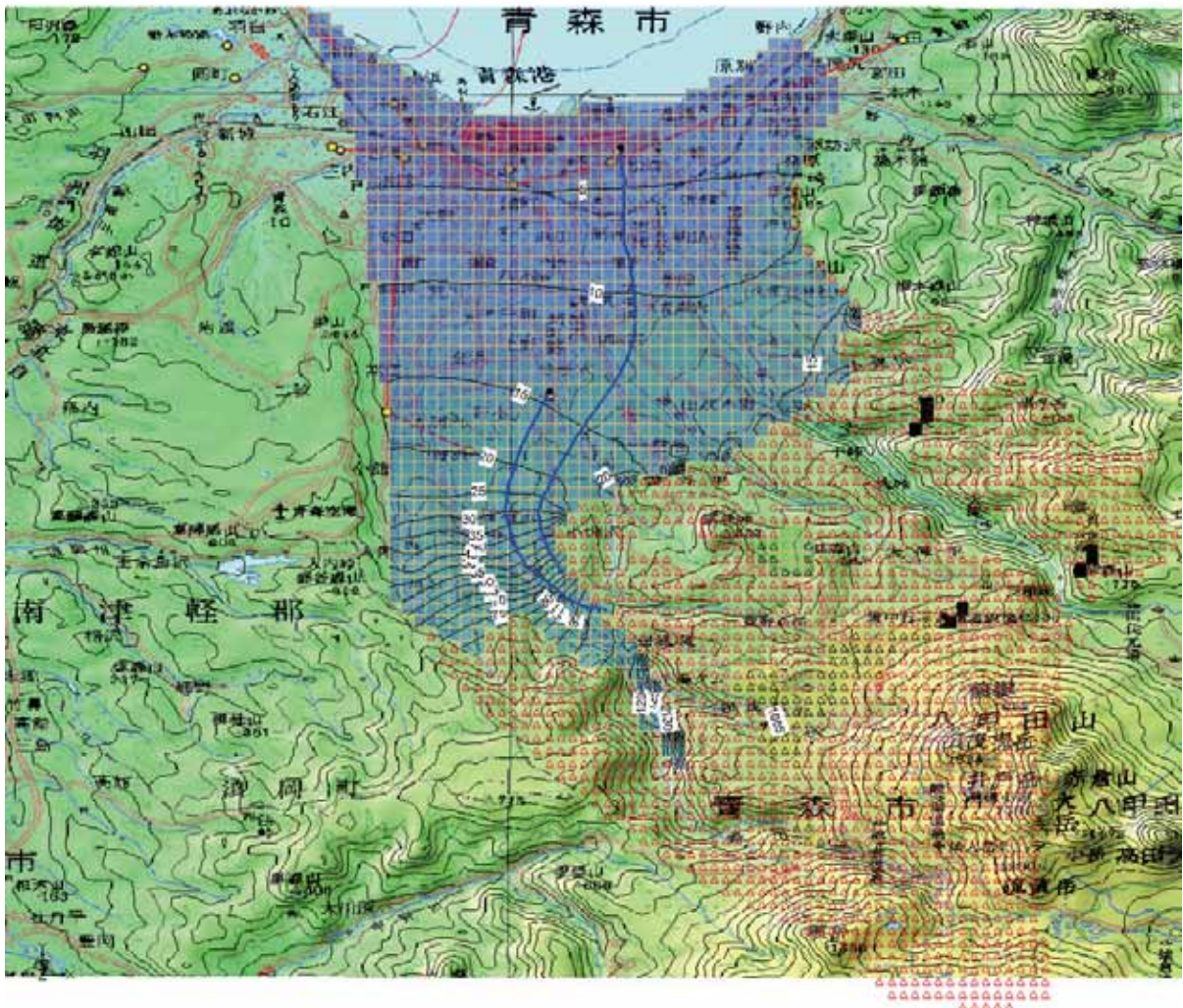


図11 モデルAの計算結果(第4層)

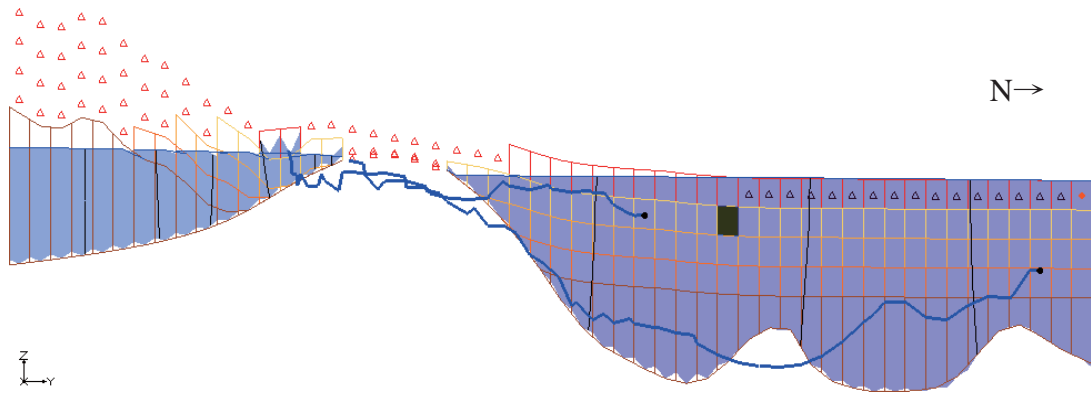


図 12 モデル A の計算結果

松森、筒井周辺の南北断面。平野部では地下水面が地表よりもわずかに高い。平野北部の深層地下水では上向きの地下水流れが認められる。

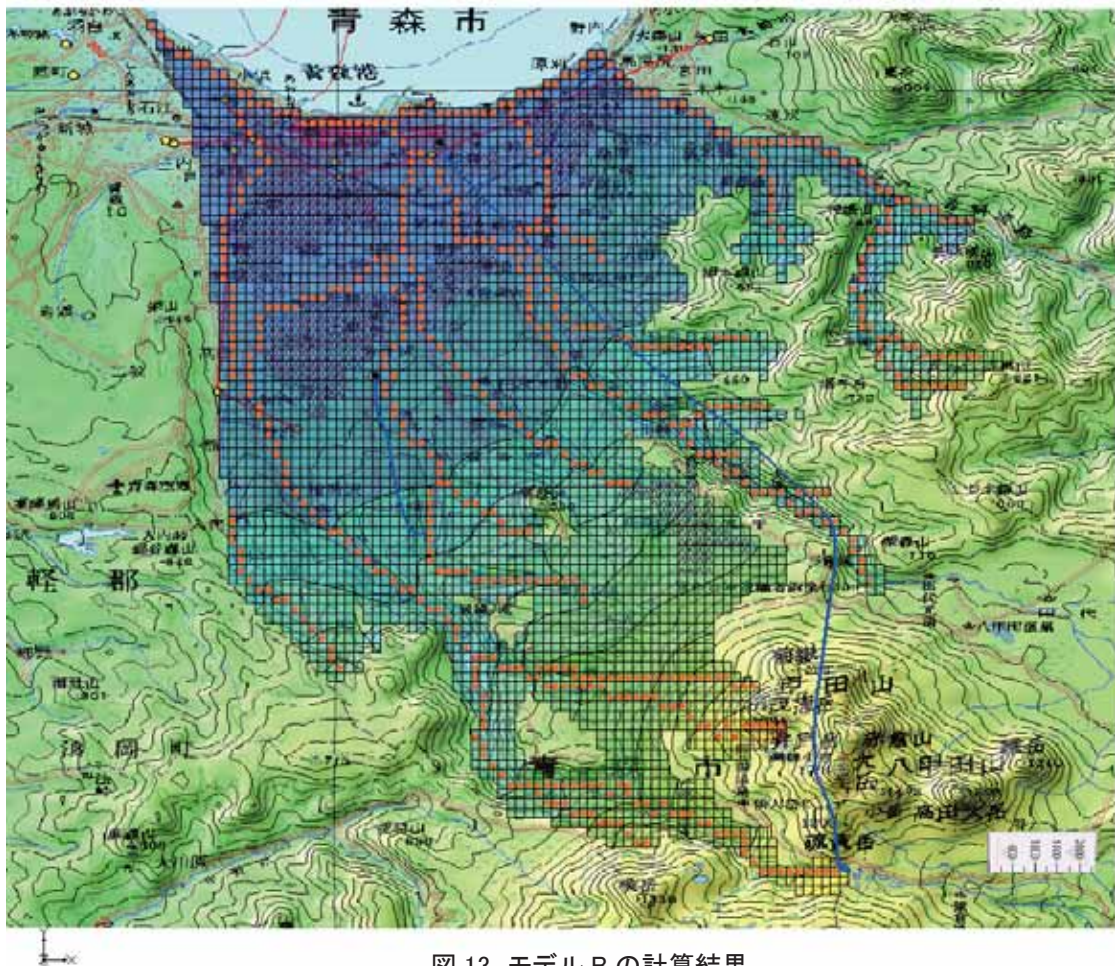


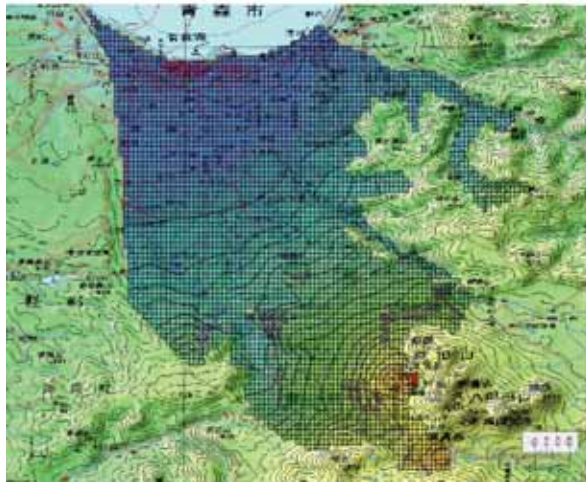
図 13 モデル B の計算結果

橙色の丸は定水頭(河川標高)である。第 1 層の水位分布を示した。

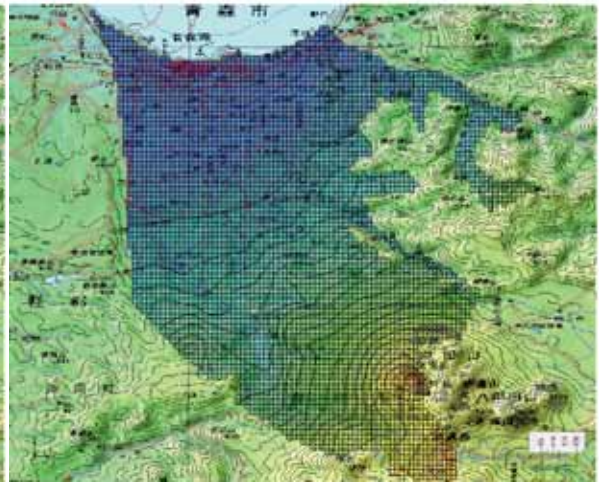
(2) モデル B

図 13 に第 1 層 (地表から地下 100m まで) の、図 14 に第 2 層から第 6 層の計算結果を示す。図 13 において、平野部のセルの多くは△ (黒色) が書かれており、八甲田山麓では△ (赤色) が書かれている。前者は地下水位が地表面よりも上部にあること、後者は地下水位が第 4 層よりも下部にあるこ

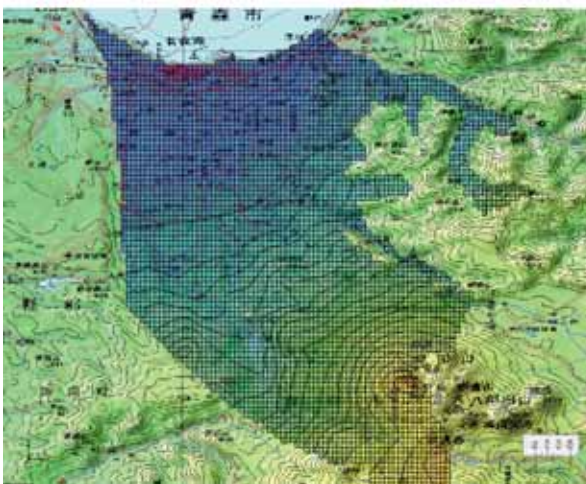
とを意味する。オレンジ色のセルは主な河川の位置を示しており、これらには定水頭（河川および池）条件を与えている。本来、第一層は流域全てを覆っているはずだが、所々でセルが消失している領域がある。これらの領域は、地下水面が第1層以下の場合であり、シミュレーションの結果、“乾燥した”セルは表示しなかったために生じたものである。



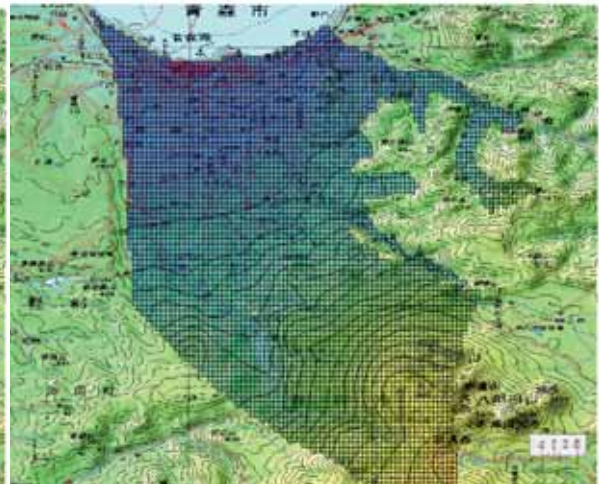
第2層



第3層

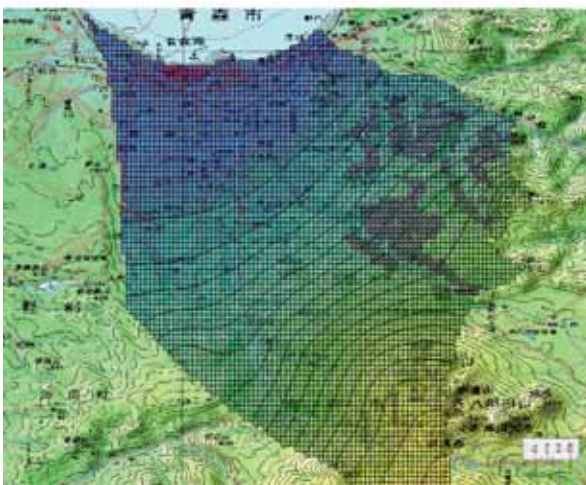


第4層



第5層

層



第6層

図14 計算結果(モデルB)

第6層では湛水部が認められるが、これは理論上ありえない。この現象はMODFLOWのプログラム上の問題であると考えられる(繰り返し計算中に、一旦、地下水面がセルの下になってしまった場合、そのセルはその後の繰り返し計算にて、存在しないものとして扱われてしまう)。

第1層の地下水は八甲田山側から青森港に向かって流下している。モデルAと同様、動水勾配は斜面で大きく、平野部に入ると小さくなる。したがって、地下水の流速も斜面で大きく、平野部で小さい。また、平野部には△が認められるセルが多く見られる。これらの領域では地下水面が地表よりも高い。つまり湛水（水浸し）の状態であり、実際には地下水位面が高いことに相当する。また図15によると、佃1-3-2の地下では上向きの流れが認められ、モデルAと同様に観測事実と定性的には一致する。

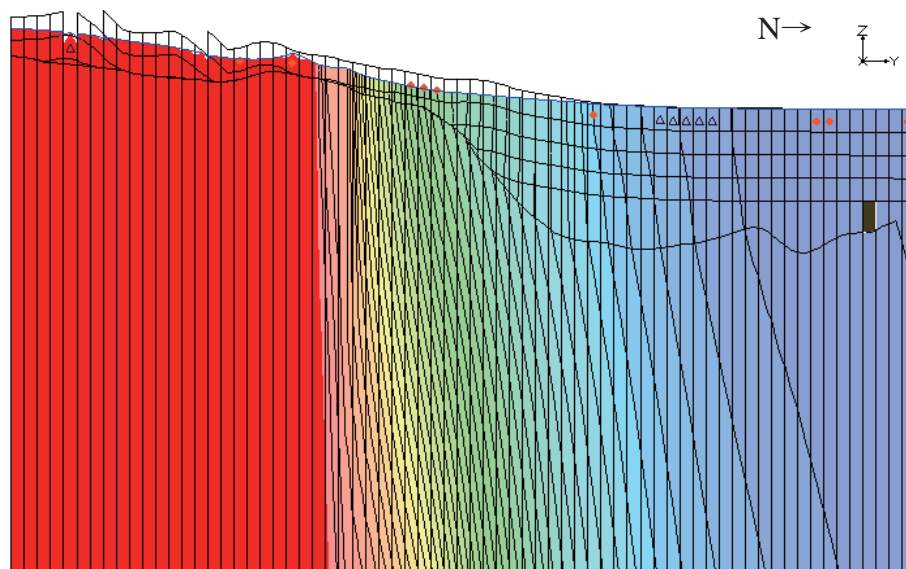


図15 計算結果(モデルB)

佃1-3-2におけるシミュレーションによる等水理水頭分布。コンターの間隔は5m。赤色の部分は、水理水頭が200m以上の領域。佃1-3-2の地下450m周辺では、上昇流が認められる。

2.1.5 シミュレーション結果の検証

現地調査結果を用いてシミュレーションの結果を検証するための方法の一つとして、地下水の滞留時間を指標とした。佃1-3-2は平野部北部に位置する深さ450mの井戸であり、シミュレーションでは第4層内にスクリーンが位置する。モデルAによって計算されたポテンシャルデータと透水係数値から、モデルAにおいては佃1-3-2の地下水は図7で示すような通路を通過してきたことが示された。計算によると、この地下水は合子沢上流の小畑沢付近で涵養され、基底面付近を移動しつつ佃に至っている。その流路長は約12.8km、時間は約3,200年である（間隙率0.3として計算）。一方、合子沢の炭素14年代は約410年であり、涵養域は佃1-3-2のそれと近い。

佃1-3-2で得られた3,200年という値は、炭素14年代測定値と比較して約1/5である。試みに異方性(K_h/K_v)を変化させても、計算値と炭素14年代に十分に近づけることはできなかった。計算による滞留時間と炭素14年代値を一致させるためには、第2層から第4層の透水係数を1/10にすしなくてはならない（その場合、約16,000年となる）。しかし、このようにフィッティングさせた場合でも、現場データとの多くの矛盾が残る。特に酸素・水素安定同位体データからは、佃1-3-2の地下水涵養域は少なくとも合子沢の涵養域よりも標高が高い地域であることが示唆されている。

モデルBのシミュレーション解(図13)では佃1-3-2における地下水の年代は約15,400年、涵養域は八甲田山硫黄岳周辺となった。合子沢では年代は約40年、涵養域は合子沢が存在する斜面上部である。このシミュレーション結果は酸素・水素安定同位体データから推定される涵養域とも整合性がある。したがって、青森平野の広域地下水流動モデルは、モデルAよりもモデルBの方が適切であると判断される。

2.2 津軽平野の地下水流動シミュレーション

2.2.1 概要

青森県（1997）によると、本地域の温泉の包蔵状態には主に2つのタイプが考えられている。1つは地層水タイプ（地層を形成する粒子間隙中を流れる形態）であり、もう1つは裂か水タイプ（固結した岩石の割れ目を流れる形態）である。前者は主に鮮新世以降の地層で、後者は主に中新統以前の地層で卓越していると考えられている。また、青森県環境保健部（1991）は、弘前市周辺の温泉は主に中新世の頁岩類中に油田かん水とほぼ類似した状態で包蔵されていること、泉質も食塩泉に該当するものが多く見られることを述べている。したがって、中新世以前の地層では、地下水は『所々停滞する部分があるものの、亀裂内では流動しているところもある』、という状態であると予想される。

本章では、津軽平野の地下水流動シミュレーションについて述べるが、通常、第四紀地層内の地下水流動を扱う場合、第三紀が水文学的基盤すなわち非流動境界として扱われる。しかしながら、津軽平野においては上記の理由から、第三紀鮮新世を水文学的基盤とすべきではない。このことは、岩相からも明確に推定される（村岡、私信）。むしろ焦点となるのは、中新世およびそれ以前の裂か水タイプの取り扱いである。つまり、上述した『所々停滞する部分があるものの、亀裂内では流動しているところもある』地下水の状態を、シミュレーションにどのように組み込むのか、が焦点となる。

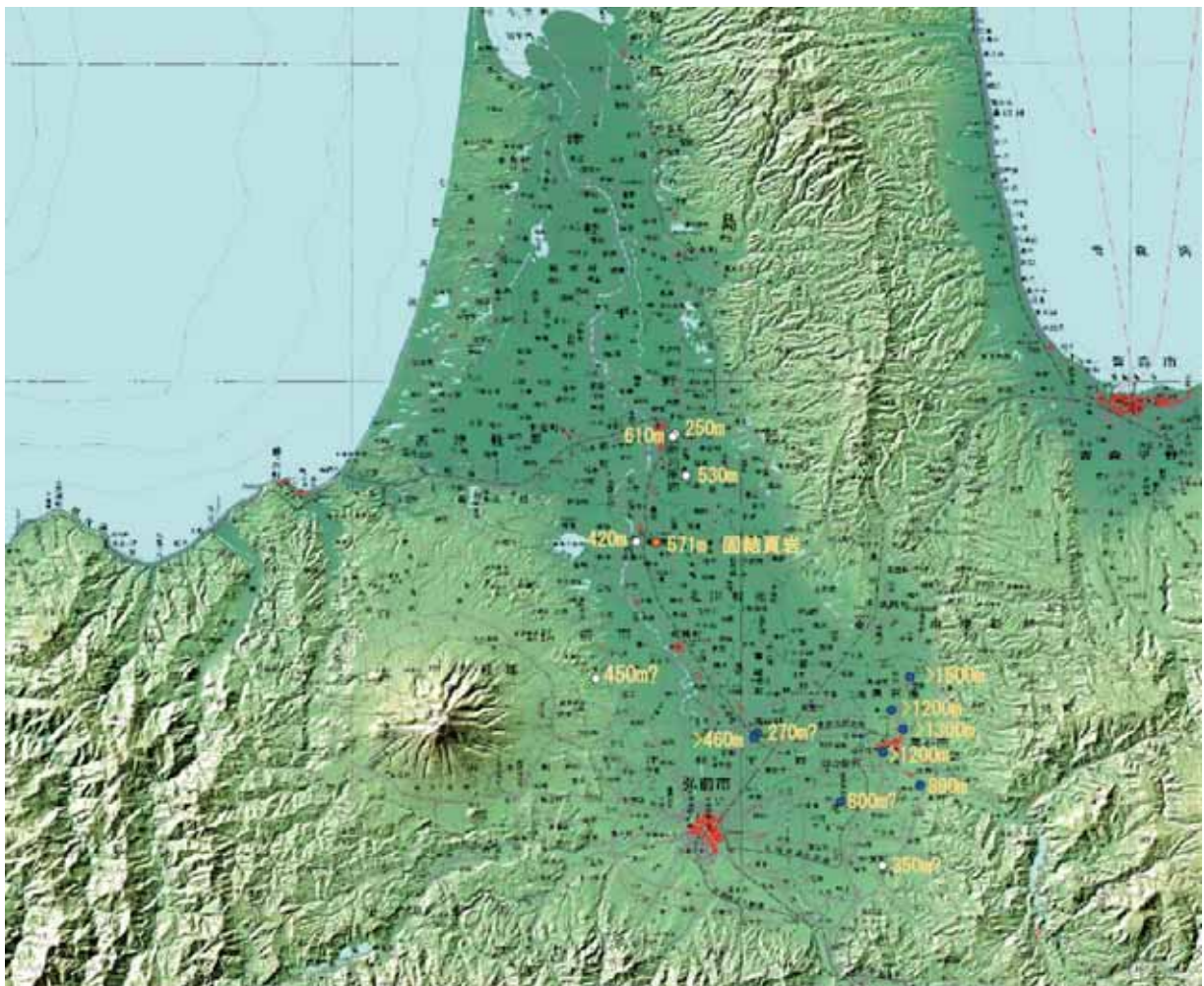


図 16 推定された中新世の上面深度

橙色は、尾崎・菅野(1965)が示したボーリング柱状図の位置および中新世上面の深度。
白色は、尾崎・菅野(1965)で認められた頁岩を指標として判読した中新世上面。
青色は、主に水質によって判読した中新世上面深度。

2.2.2 中新世上面深度の決定について

(1) 既存資料

中新世の取り扱いは大きな問題ではあるが、現実にはそれを扱う前に、もう1つ大きな問題を解決しなくてはならない。それは、この中新世上部の標高分布を示している文献が極めて少なく、ほとんど明らかになっていないことである。

尾崎・菅野 (1965) によると、鶴田町鶴の湯 (図 16 橙丸) のさく井記録では、地表から未固結の堆積物が分布しており、深度 571m にて砂質頁岩に達することが示されている。この頁岩の上位にある未固結層は厚い砂・シルト層であり、大釈迦層 (鮮新世) の特性とよく似ている。また、青森県環境保健部 (1991) の記載にあるように、中新世が固結岩によって形成されていることを考慮すると、この砂質頁岩を中新世とみなすことについては特に問題がないであろう。そこで、本論ではこの事実を手がかりにして、津軽平野全体における中新世上面の標高分布の推定を試みた。用いた手法は、柱状図、水質、ブーゲー異常データである。

(2) ボーリング柱状図による中新世上面の決定

鶴田町周辺においては、上記の2つの層 (『砂+シルト層』と頁岩の組み合わせ) を鍵層として、中新統の上面深度を求めた。用いたのは青森県 (1997) 『青森県温泉地質誌』に掲載されている柱状図である。これによって、図 16 の白丸の地点にて、中新世の上面が明らかになった。

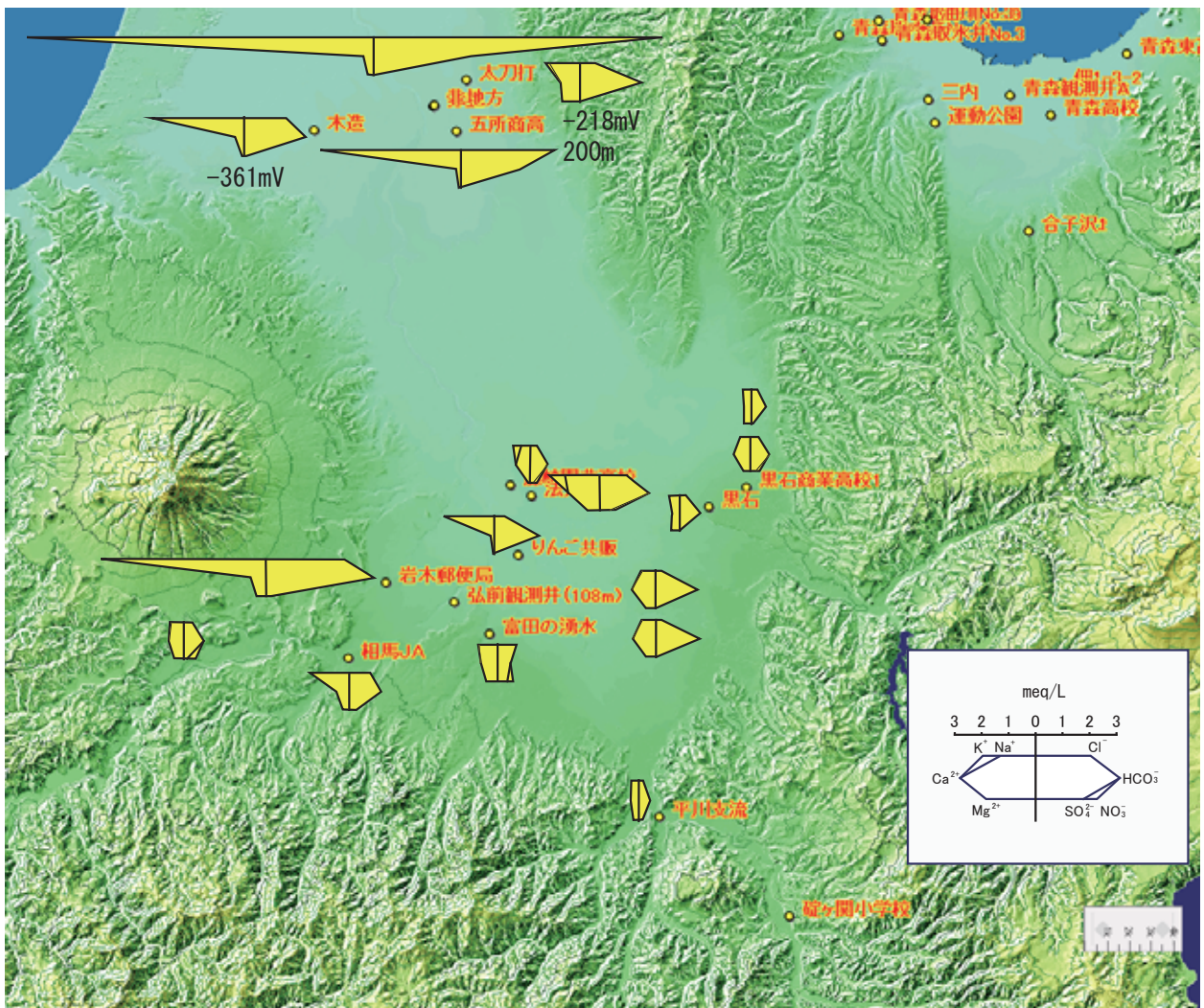


図 17 水質調査結果

岩木郵便局、北地方等では NaCl 濃度が通常でない水質が認められる。

(3) 温泉水水質による中新世上面の決定

本地域の地質学には温泉の泉質を利用した解析が行われている（例えば、弘前市史編さん委員会，2001）。本報告においては、これをさらに応用し、地下水循環という立場に立脚して中新世の標高分布を決定した。

津軽平野（に相当する地域）は中新世以降から前期更新世までは海面下にあり、陸化したのは中期更新世以降であるとされている（青森県史編さん自然部会，2001）。つまり、数 10 万年前～百数 10 万年前の津軽平野の地下は残留海水（塩水）によって満たされており、陸化した時間から真水（天水）への置換が始まったと考えられる。よって、今日、残留海水が洗い流されている領域は、地下水の循環が盛んであることを意味する。

この残留海水の指標としては、塩化物イオンが適切である。なぜなら、多くの陽イオンは鉱物の生成・沈殿やイオン交換を含む反応に深く関与し、陰イオンについても硫酸イオンや硝酸イオンは電子アクセプターとして微生物活動に深く関与するためである。この事実を考慮すると、（水-鉱物反応に対して比較的不活性な）塩化物イオン（臭素イオンも同様）は、残留海水の 1 つの指標になりうるであろう。

本報告では、地下水中の塩化物イオン濃度が 30ppm 以下ならば、その井戸（のスクリーン）は中新世に達していないと考えた（図 16 の青丸）。

ただし、現地調査による水質分析結果を見ると（図 17）、例えば岩木郵便局、北地方などにて NaCl 濃度が明らかに通常でない水質が認められている。はっきりとはしないが、りんご共販、相馬 JA、木造、太刀打、五所川原なども同様だと思われ、付近の火山の影響かもしれない。そのため、塩化物イオンを指標とする方法は、“通常の”水質が認められる黒石市周辺のみに適用した。

(4) ブーゲー異常

鮮新世以後と中新世以前に固結度に大きな差があることは、その密度に差があることを意味する。そのため現在得られているブーゲー異常分布（地質調査所，1976，1978，1995）は、相対的な中新世の標高を反映している可能性がある（村岡、私信）。そこで、上記の柱状図や水質から得られた中新世の標高データとブーゲー異常の関連を求めたところ、弘前東部領域（図 16 の橙色、白色、青色の丸の地点）においては、決定係数が 0.87 という明瞭な関係が認められた（図 18）。得られた回帰式は

$$\text{基盤面深度} \approx -\text{基盤標高} = -19.027 \times (\text{ブーゲー異常 [mgal]}) + 1759$$

である。図 19 はこの回帰式および地質調査所（1976，1978，1995）が示した地質図によって推定した中新世上面の標高分布である。岩木山の地下地質については、ブーゲー異常データが存在しない領域が大半であったので、これについては地質調査所（1970）が示した地質断面図を参考にした。

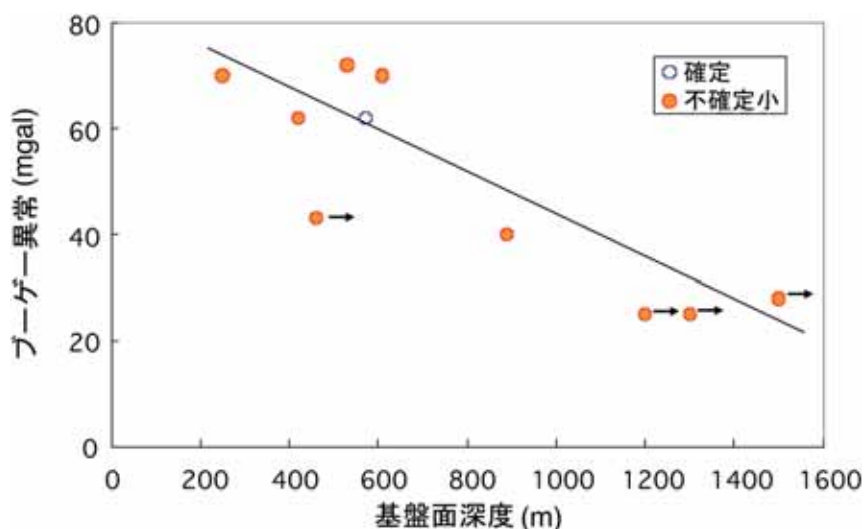


図 18 津軽平野内各地域の基盤面深度とブーゲー異常の関係

各地域について、複数のボーリングデータ、もしくは水質と柱状図の両面から基盤標高を決定した。

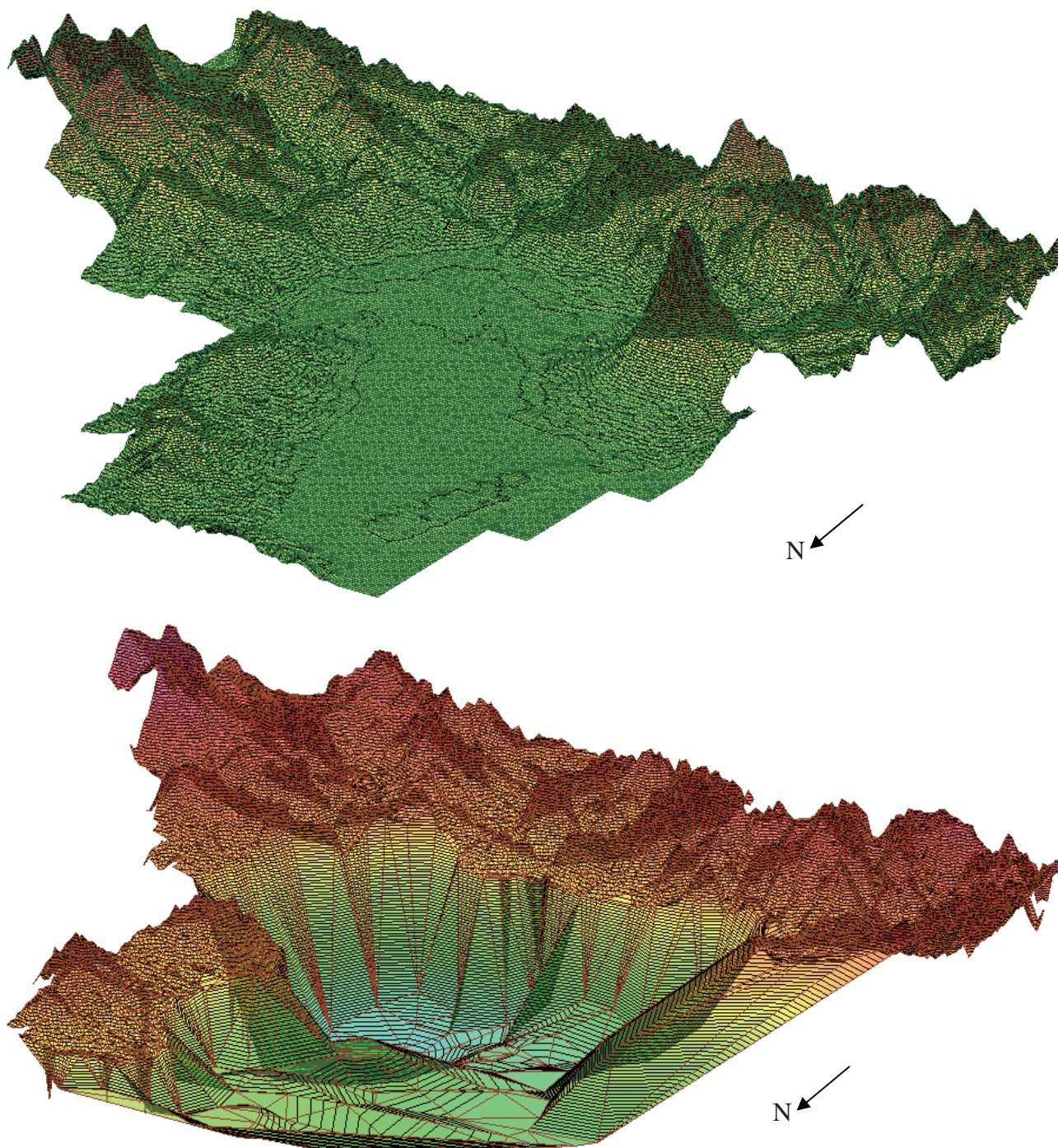


図 19 標高分布(上)および中新世上面標高分布図(下)

2 つとも手前が十三湖側、平野部の奥が弘前市および黒石市。右が岩木山。下図では五所川原付近では、中新世上面の標高は比較的高いが、黒石市周辺では著しく低くなっていることが示されている。この部分の標高は-1000m 以上である。なお、標高データは国土地理院発行の 50m メッシュ DEM データを用いた。

津軽平野南部は最高標高が 1000m 以上に達するような山々に取り囲まれているが、この山地部では中新統が地表に露出しているため、その上面標高は地形標高と同じになる。しかし図 19 によると、平野部では中新世は急激に落ち込み、黒石市周辺にて上面標高は-1300m となる。中新世が極端に深い

は黒石市周辺のみであり、五所川原付近では浅くなるため、津軽平野の中新世は南が深いお椀のような地形を有しつつ、海に向かって開いた構造になっていると考えられる。

2.2.3 透水係数の決定について

青森県環境保全部(1990)の揚水試験によると、板柳町(715m深)にて 2.22×10^{-6} m/s、田舎館村(1000m深)にて、 1.07×10^{-6} m/s、黒石市(1103m深)では 7.05×10^{-6} m/s が得られている。これは温泉帯水層(大釈迦層および相当層)の値であると考えられる。

さらに浅い領域については、弘前市史編纂委員会(2000)によって報告されている、浅井戸および深井戸の揚水量、自然水位、揚水水位データを用いることによって、透水係数を逆解析した。逆解析では貯留係数一定(0.33×10^{-4} /m)と仮定し、揚水から86400秒後の水位を揚水水位として与えた。弘前市内の100地点以上の井戸データから求められた透水係数の分布は、 $1 \sim 5 \times 10^{-5}$ m/s が最頻値であることを示した(図20)。この値はいわゆる“帯水層”に分類するものであり、地質としては、中粒砂とシルト混合もしくは細砂に対応する(弘前市編纂委員会, 2000)。このような地質は、付近の地質柱状図とも整合的であると判断される。

後述するが、シミュレーションでは地下100~150m程度まではこの逆解析によって得られた値を適用し、それ以深については、既存の資料の平均値である 3.4×10^{-6} m/sを用いた。

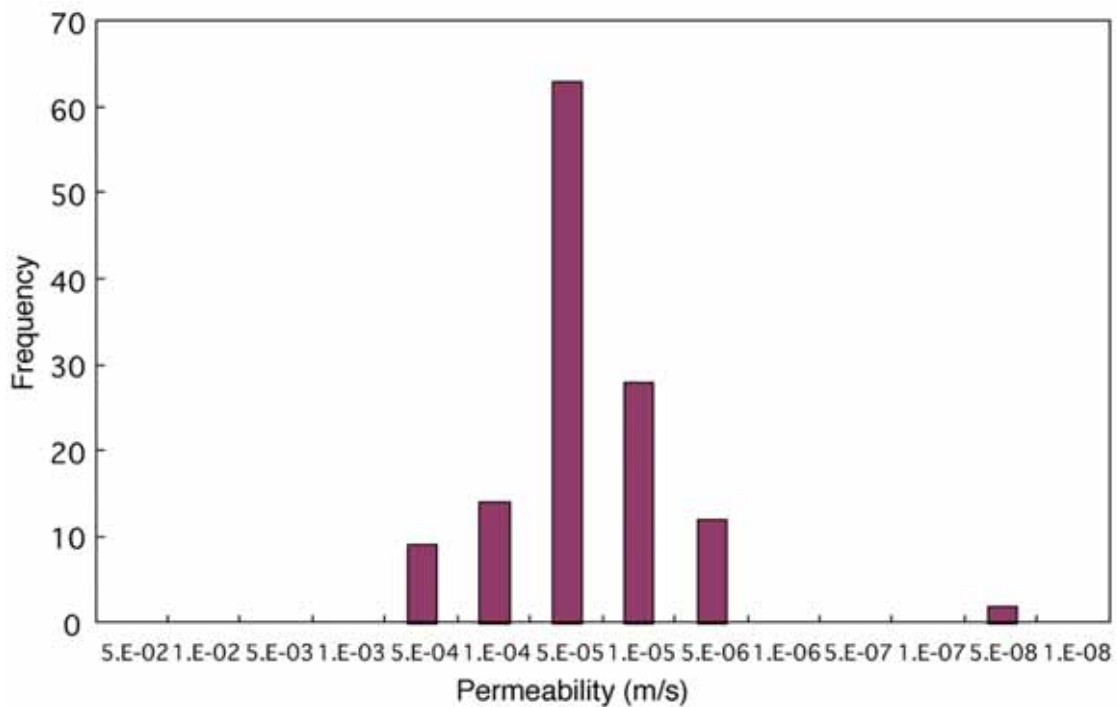


図20 推定された透水係数の頻度分布図

弘前市内の様々な深度の井戸データを用いている。 $1.0 \sim 5.0 \times 10^{-5}$ [m/s]が最も高い頻度を示す。

2.2.4 地下水流動シミュレーション

本章冒頭でも述べたように、津軽平野の広域地下水流動に関しては、中新世の果たす役割が不明である。そこで、以下では①中新世を不透水層として扱った場合(モデルA)、と②中新世に透水性を与えた場合(モデルB)、の2つの場合についてシミュレーションを行い、現地データとの比較を試みた。この2つのシミュレーションのうち、現地データをより良く説明できる方が、実際の広域地下水流動を示すモデルとして採用されるべきである。

(1) モデルA

i) 計算条件

モデルAの有限差分メッシュ(メッシュ長は約350m×350m)は図21の通りである。深度方向には便

宜上 5 つの層を作成した。計算条件を以下に列挙する。

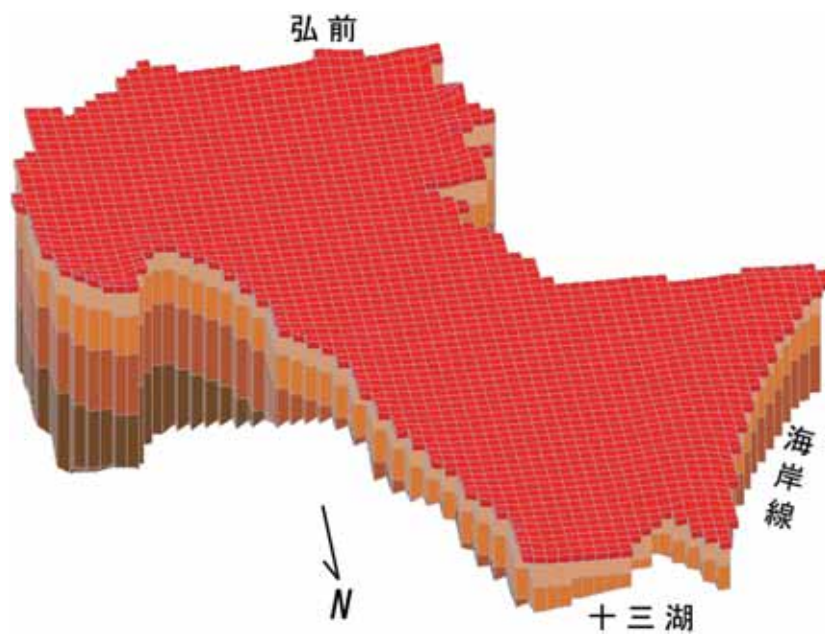
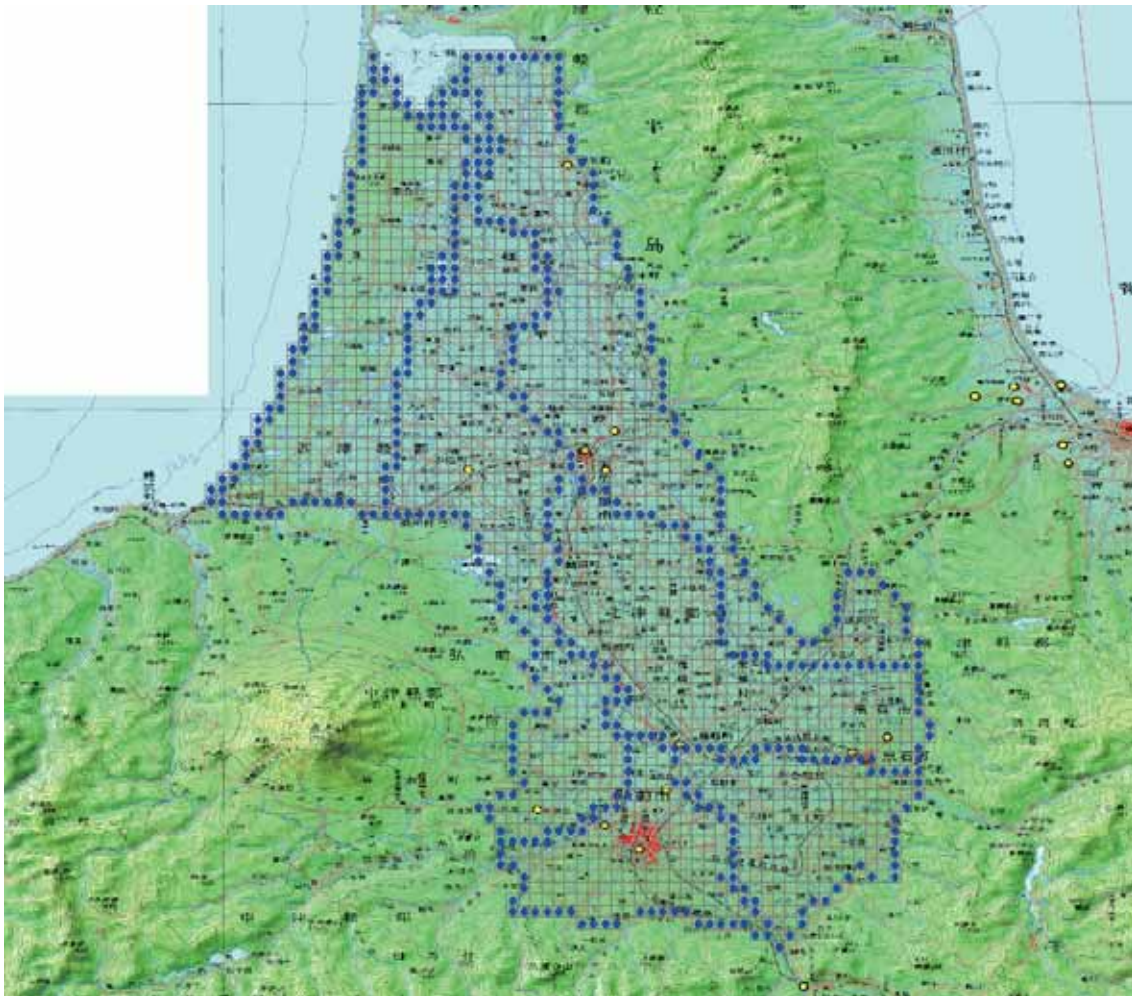


図 21 モデル A の計算領域

計算領域は上の通り。青丸は定水頭境界である。下図は鳥瞰図。帯水層を5層に分割した。下図では手前が十三湖側である。

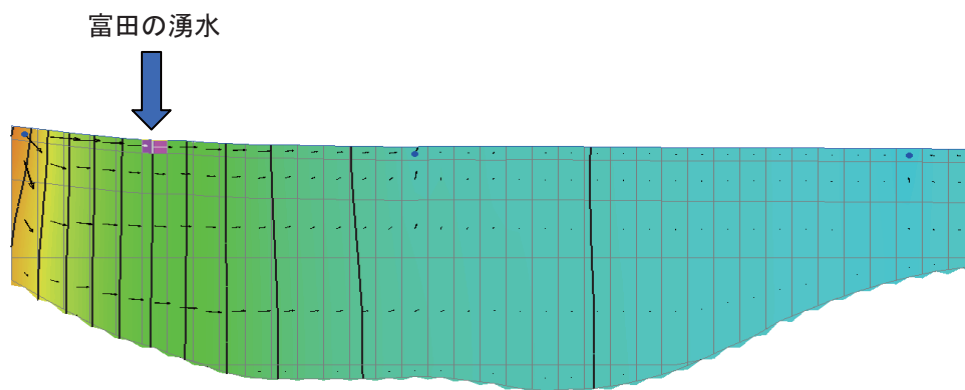
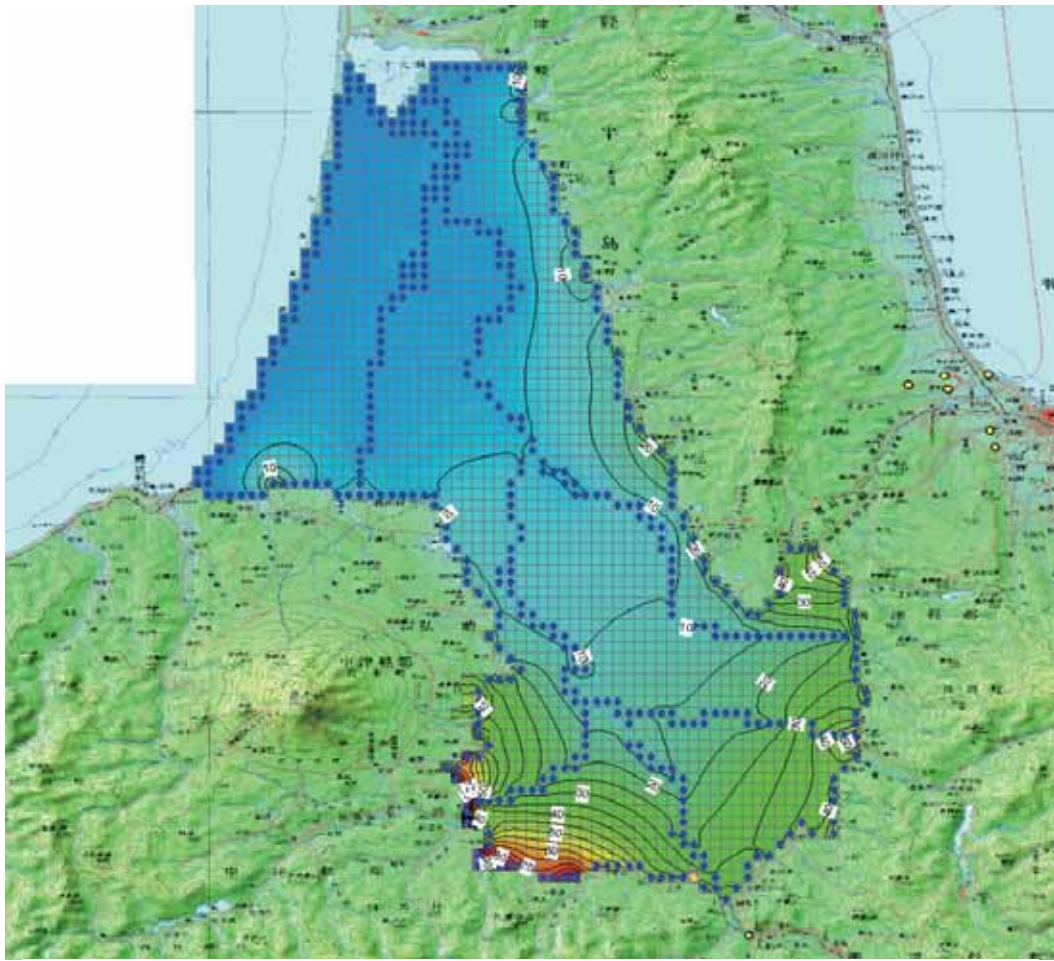


図 22 モデル A の計算結果

上図は、地下水面標高のシミュレーション結果。弘前市内の地下水位、等値線は 10m 間隔。水平方向の地下水流速は、等値線の密度と比例関係にあるため、地下水流速は、弘前>黒石>五所川原となる。このモデルでは、太刀打の地下水移動時間は約 3,200 年と炭素 14 年代が再現されている。しかし、下図の地下水理水頭図では、富田の湧水的位置では、いずれの深度においても上向きの流れが認められない。

・境界条件

- 北部：海岸線を定水頭 ($h=0$) と設定 (h は水位)
- 西部：尾根部を定水頭境界と設定 (h =地表面標高/1.4142m)
- 東部：中新統を定水頭境界と設定 (h =地表面標高/1.4142m)
- 南部：中新統を定水頭境界と設定 (h =地表面標高/1.4142m)
- 涵養量：なし

・計算レイヤー

・5層モデル

基盤面：中新世上面

第1層：50m ($K_h=2.5 \times 10^{-5}$ m/s)

第2層：150m (① $K_h=2.5 \times 10^{-5}$ m/s→② $K_h=5.0 \times 10^{-6}$ m/s)

第3層：250m ($K_h=3.4 \times 10^{-6}$ m/s)

第4層：400m ($K_h=3.4 \times 10^{-6}$ cm/s)

第5層：基盤面まで ($K_h=3.4 \times 10^{-6}$ cm/s)

異方性：一律 $K_h/K_v=3.0$ とした。

間隙率：一律 30%

ここで、 K_h が水平方向透水係数、 K_v は鉛直方向透水係数である。層の厚さは中新世上面標高によって変化させた。

ii) 計算結果と考察

シミュレーション結果によると、弘前市内での地下水面標高 (図 22 上) は約 30m 深となる。酒井 (1960) による実測値もおおよそ 30m であり、かなり実際に近い値となった。ただし、第2層に第1層と同じ透水係数を与えた場合 (上記①)、MODPATH による地下水の移動時間は太刀打で約 670 年となり、実測データを再現することはできなかった (みかけの炭素 14 年代値は 3,000 年)。そこで上記 (②) のように第2層の透水係数をやや小さくしたところ、移動時間は 3,230 年となり、実測値をよく再現した (ただし、いずれの場合も計算による水収支誤差は 30%と大きい)。

このモデルでは弘前市の北側では地下水は上向きの流れが見られるが、弘前市南部の富田の湧水的位置では自噴地下水を再現することはできていない (図 22 下)。むしろ弘前市周辺は涵養域となってしまい、地下水が下向きになっている。弘前市の北部と南部という距離の違いを誤差ととるべきかどうかは議論の余地がある。しかし、広域地下水シミュレーションは広域地下水流動をマクロに再現すべきである。

(2) モデル B

モデル A では、中新統を基盤とし、津軽平野の平坦部 (地質図上の第四系および鮮新世) を計算領域とし、多くの部分で実測値との整合性をみることができた。しかしながら、富田の湧水の存在を考えると弘前市の地下は北部だけでなく南部も被圧されているはずであり、このような場を再現するためには、弘前市全体が流出域となるような、より広域の地下水流動を考慮せざるを得ない。さらに、今回のシミュレーションの重要な目的の1つに、青森平野と津軽平野での地下水流速の比較がある。この場合、おそらくは両地域のシミュレーション条件を出来る限り類似させることが好ましいであろう。すなわち、青森平野では、今まで基盤として扱った中新世に透水性を与えた修正モデル B を提案したが、津軽平野においても同様の作業を行うべきであると考えられる。

i) モデル B での変更点

モデル B では、基盤の取り扱い以外について、いくつかの点に変更を加えた。

- ① モデル A では降水量を 0 とし、山地部の境界条件として、標高に比例した定水頭境界を与えた。一方、モデル B では、山地部の境界を不透水境界とし、地表からの涵養を与えた。
- ② モデル A では岩木山麓を除く第四系および第三系鮮新世のみを計算領域としたが、モデル B では岩木山麓を含め、かつ第三系中新世を含めた。すなわち地形的流域全てを含んだ計算を行った。
- ③ モデル A では計算レイヤーは 5 層であったがモデル B では 6 層とした。
- ④ 第1層は 100m の層厚を持つとし、流域全体に分布させた。

以上の作業は津軽平野のシミュレーション条件に近いものである。

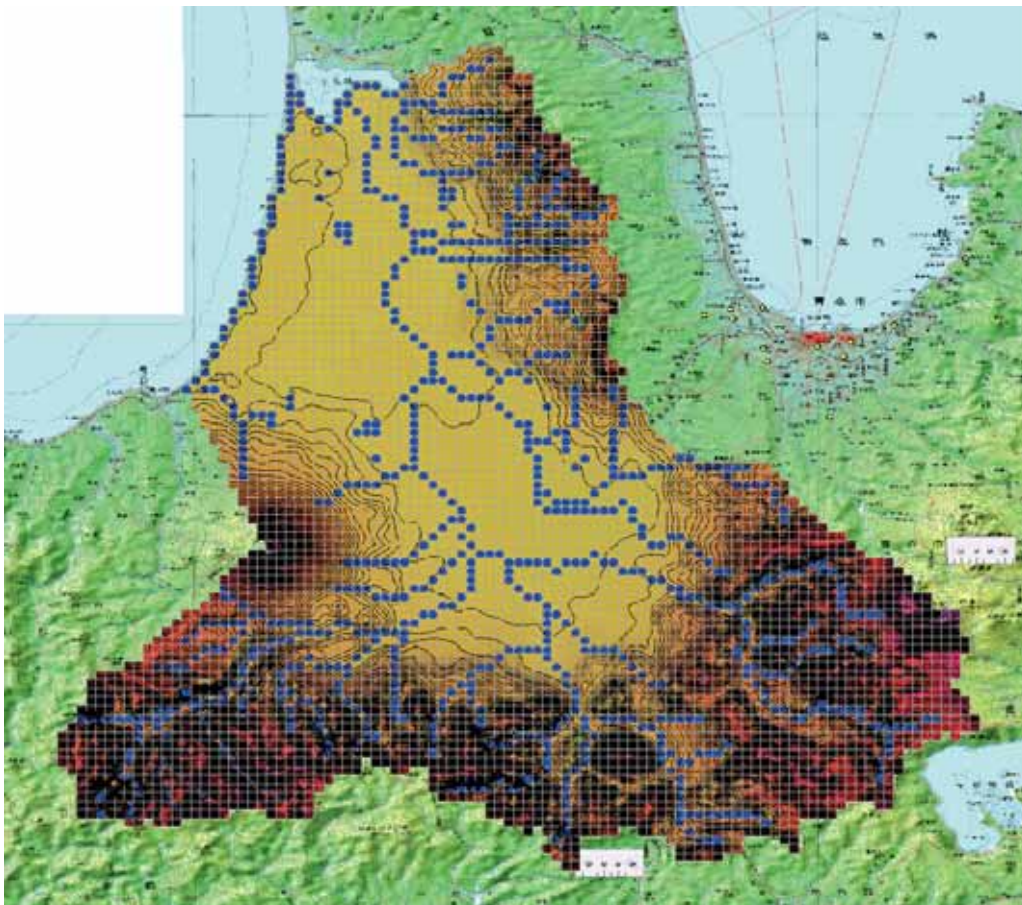
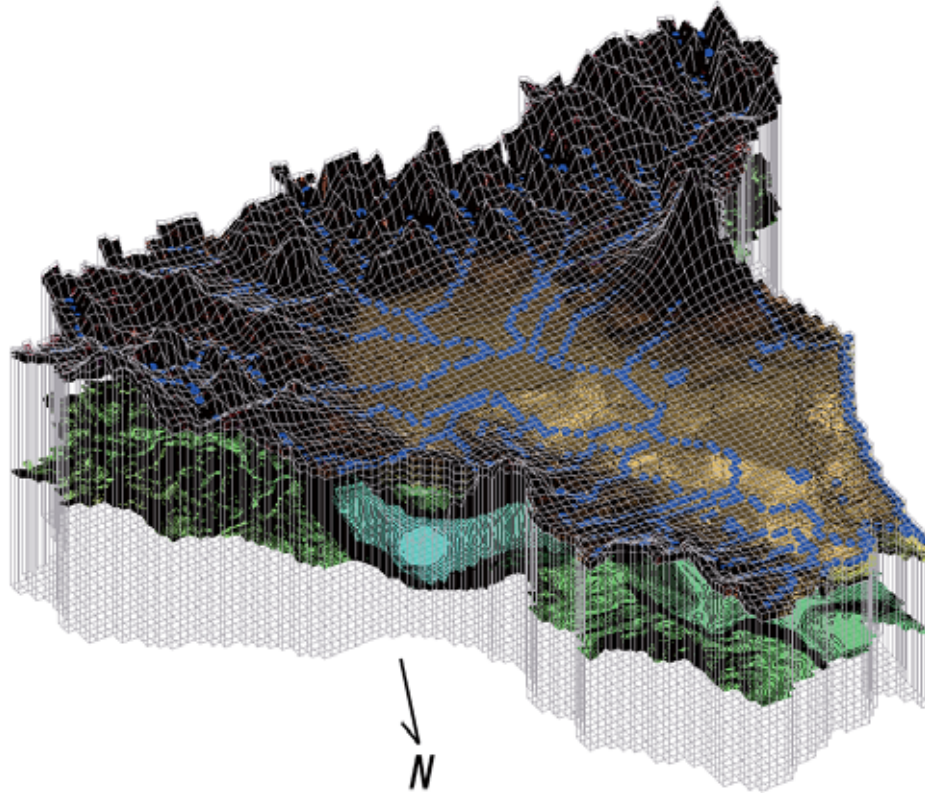


図 23 モデル B の計算領域およびメッシュ区分

下図の青丸メッシュでは、河川表面および海水面として定水頭を与えた。

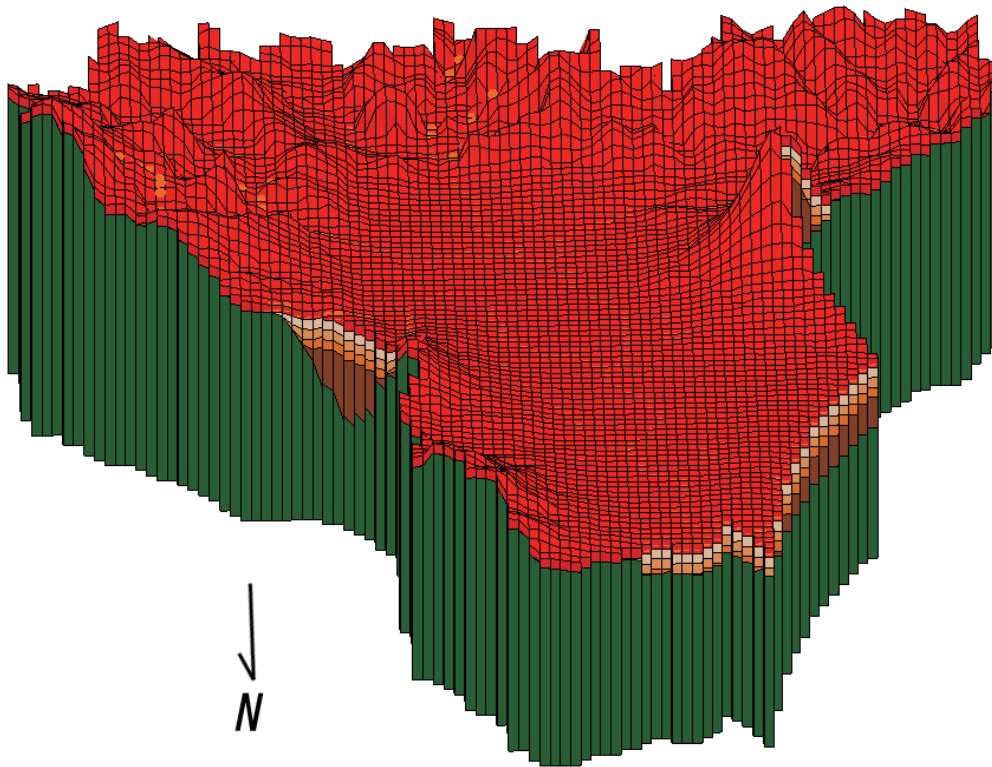


図 24 モデル B の計算領域およびメッシュ区分

中新世(緑色の部分)を計算領域に含む。その底面は一律に-2000m 深とした。

ii) 計算条件

モデル B の有限差分メッシュ (メッシュ長は約 350m×350m) は図 23、図 24 の通りである。計算条件を以下に列挙する。

基盤面：-2000m

降水量：300mm (五所川原の年平均降水量 1200mm の 1/4)

層厚

第 1 層 (100m) : $K_h=5.0 \times 10^{-5} \text{m/s}$ (図 22 の最頻値)

第 2 層 (100m) : $K_h=5.0 \times 10^{-5} \text{m/s}$ (中新統の基盤が高くなっているところは欠落)

第 3～第 5 層 (100m) : $K_h=3.4 \times 10^{-6} \text{m/s}$ (中新統の基盤が高くなっているところは欠落)

第 6 層 (-2000m を底面とする) : $K_h=3.4 \times 10^{-6} \text{m/s}$

異方性：一律 $K_h/K_v=3.0$

間隙率：第 1 層から第 5 層まで 30%、第 6 層のみ 15%

iii) 計算結果と考察

シミュレーションによって得られた結果を図 25 に示す。図 25 上のセルに見られる青い△は地表面が水に覆われている領域である。このように、シミュレーションでは津軽平野の多くの地域に湛水が認められた。人為的な影響がほとんどなかった時代では、津軽平野は湿地のような状態だったのではないだろうか。コンターは 0～300m まで描いており、桃色のセルは水位が 300m 以上の領域である。

モデル B の結果では、山地部から平野部に地下水が流れ込んでいる様子が示されている。弘前市中心部の地下水面標高は約 50m (酒井 (1960) によると約 30m)、黒石商業高校の不圧地下水面標高が 40m 程度であること (実測値は 47m)、太刀打までの地下水移動時間は 2,800 年とかなり現実のデータを再現できた。モデル A の問題となった弘前市の深層地下水についても、全域が流出域となった(図 25 下)。弘前市中心部にて計算水位が実測値よりも高いが、これは地下水揚水の影響を考慮していないためか

もしれない。

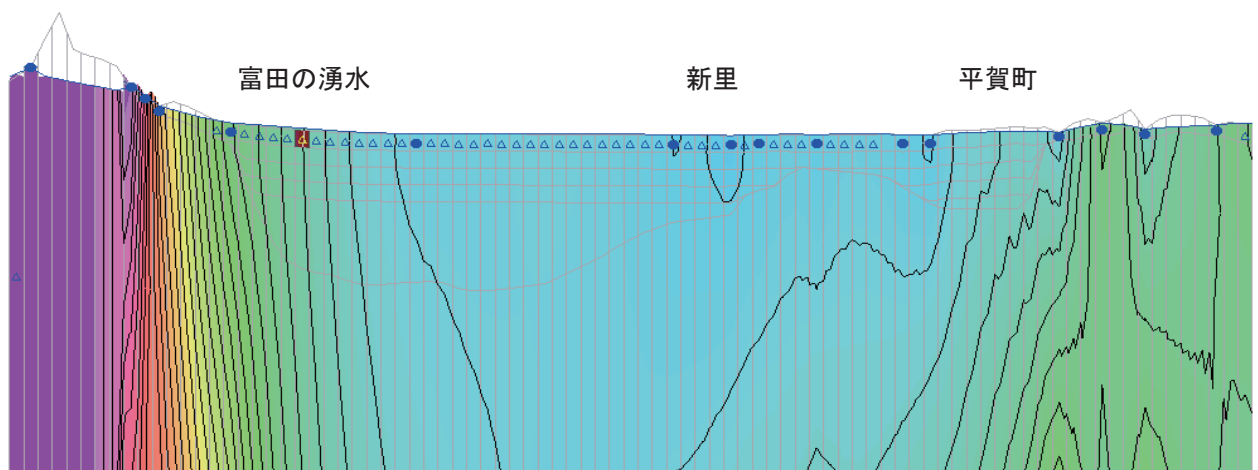
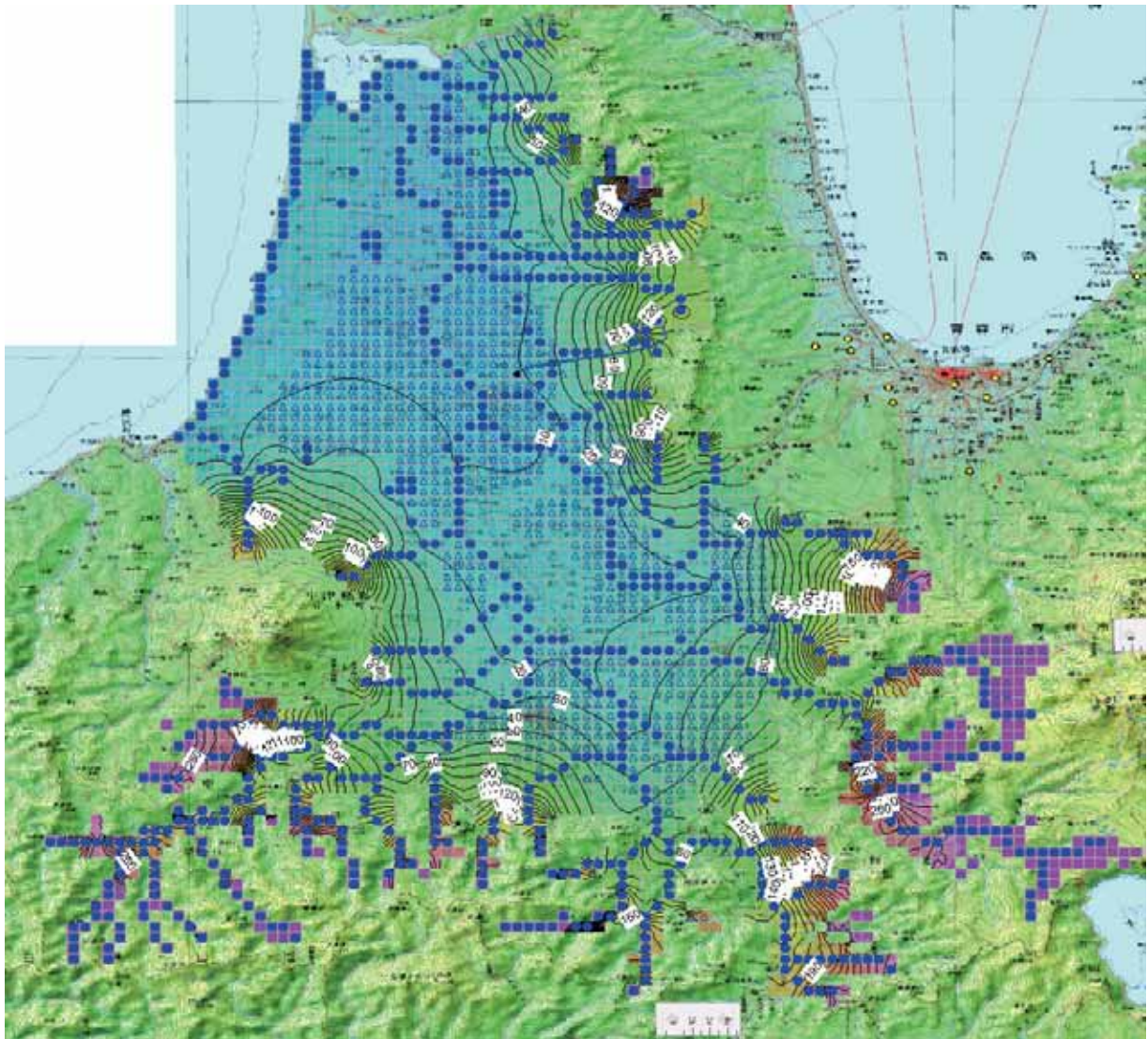


図 25 モデル B の計算結果

上図は、地下水面標高のシミュレーション結果。下図は、等水理水頭の断面図。両図とも、等値線は 10m 単位で、青い△は地表面が水に覆われている領域を示す。このモデル B の計算では、太刀打の地下水移動時間は約 2,800 年となり、炭素 14 年代が再現されている。また富田の湧水の位置では地下水は上向きの流れを有している。

3. 流速分布と採熱量に関する考察

ヒートポンプは通常地表に設置され、熱交換井で地下と熱交換を行うか、または帯水層から地下水を汲み上げて地表で熱交換する。前者のケースでは、地表から坑底深度までの流速が採熱率に影響し、後者のケースでは、帯水層深度が重要だが流速はエネルギー獲得の面では余り関係がない。よって、地下水流速の比較が重要となるのは、浅層地下水であるので、青森平野、津軽平野の地下水流動シミュレーション結果から、浅層地下水の流速を求めた。両者とも、より現実に近いモデルと考えられる、ケースBを利用した。

シミュレーションの章で説明した通り、青森平野および津軽平野については、浅層帯水層の透水係数は明確にはされていない。そこでシミュレーションでは、2つの地域とも、第1層（地表から100mに対応）には透水係数 $5 \times 10^{-5} \text{m/s}$ （この数値については津軽平野の章参照）を与えて計算が行われている。また、間隙率も0.3で統一してあるので、地質特性は同じである。したがって、流速は動水勾配に大きく影響される。

地下水流速分布を、図26および図27に示す。図には、黄色四角によって囲まれた領域の最大流速と最小流速（m/日）を示した。なお、これはMODPATHにより計算された粒子流速（実流速に相当）である。間隙率を0.3としているので、ダルシー流速はこれらの値の0.3倍である。

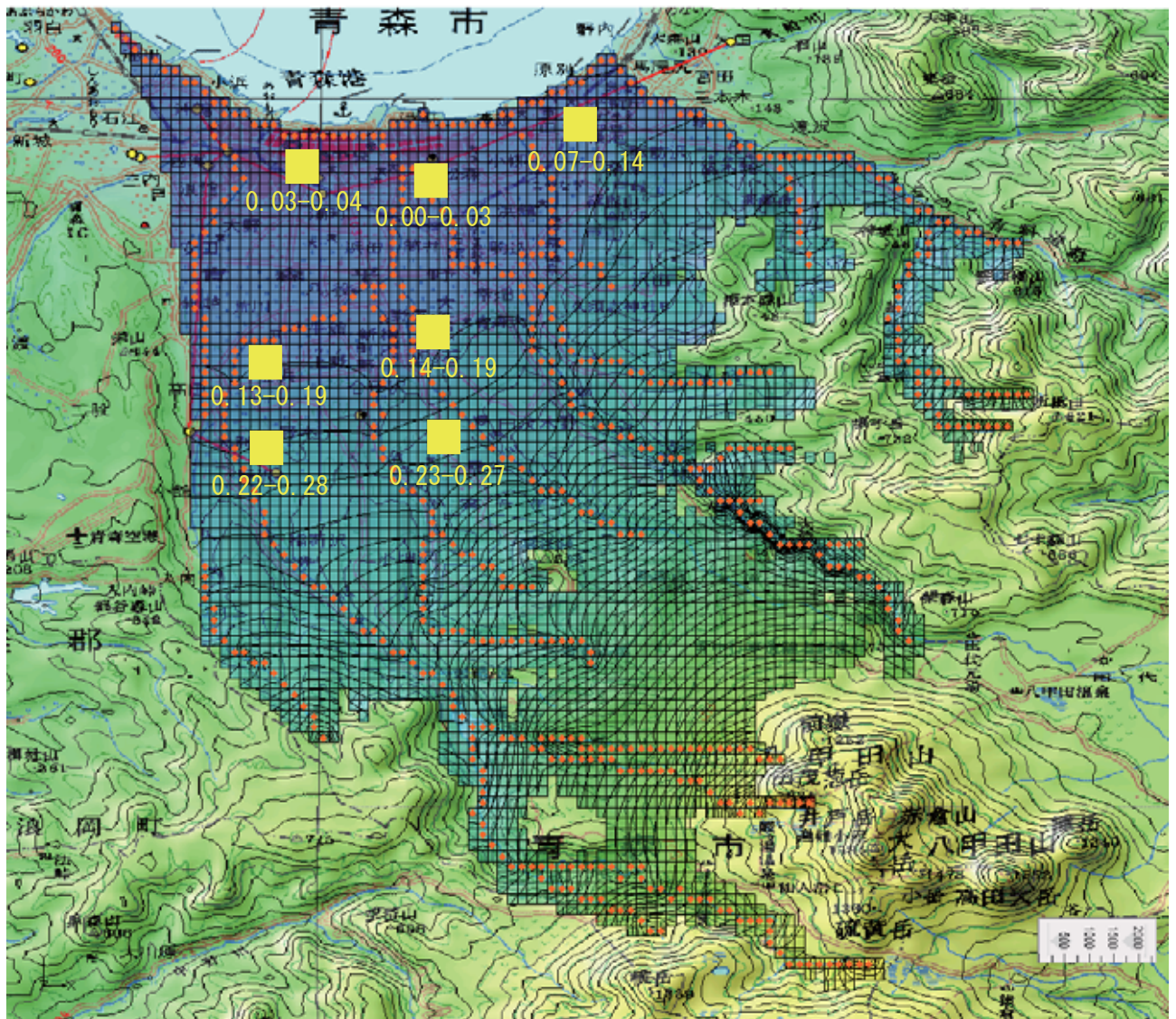


図26 青森平野の導水勾配(コンター)と地下水流速分布(黄文字)

黄色領域内の最大流速と最小流速を記載した。単位は(m/日 $\doteq 10^{-6}$ m/秒)であり、ダルシー流

速(m^3/m^2 秒)は上記の値の 0.3 倍。全て第 1 層内の地下水を対象としている。

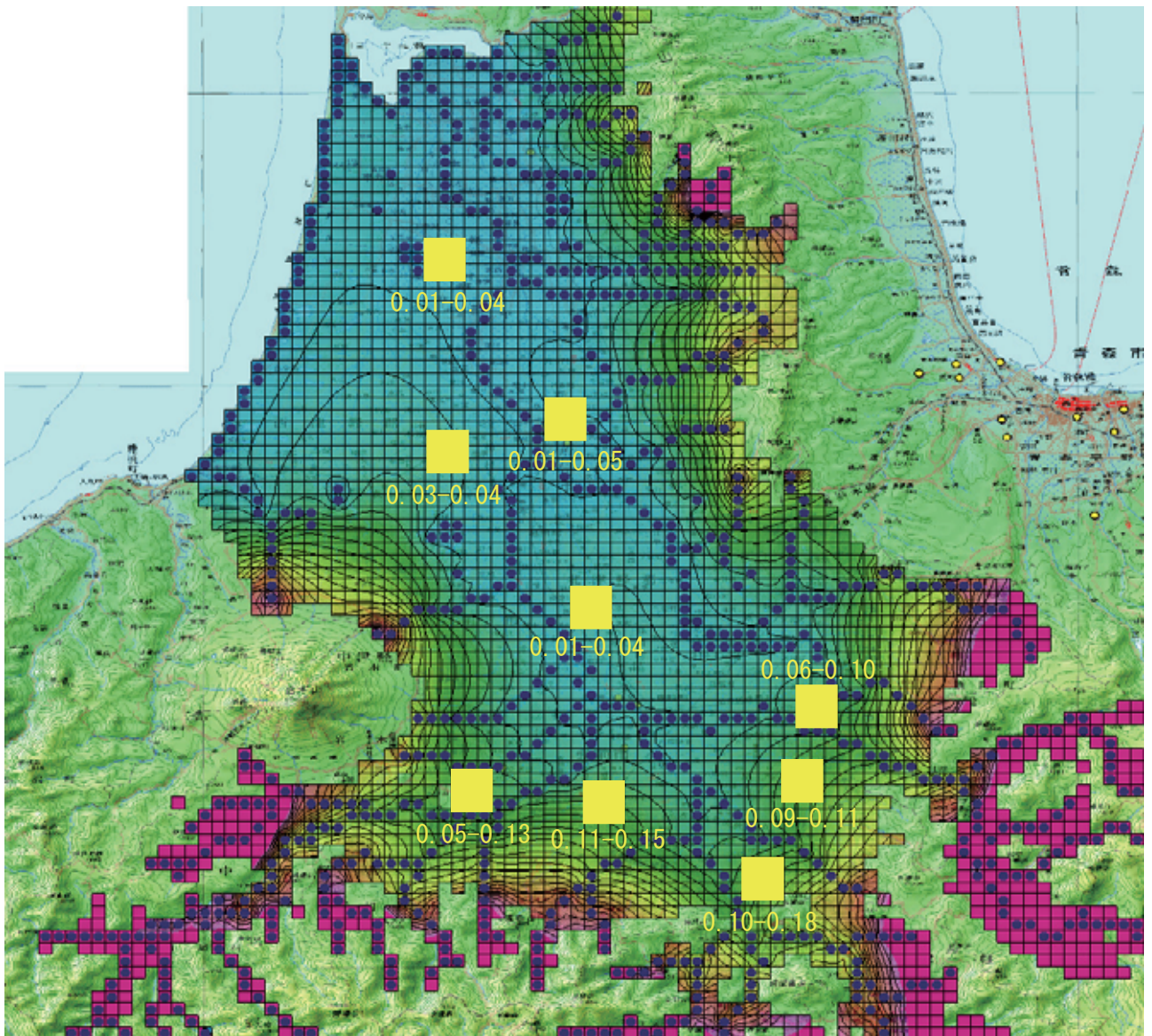


図 27 津軽平野の導水勾配(コンター)と地下水流速分布(黄文字)

黄色領域内の最大流速と最小流速を記載した。単位は($\text{m}/\text{日} \doteq 10^{-6} \text{m}/\text{秒}$)であり、ダルシー流速(m^3/m^2 秒)は上記の値の 0.3 倍。第 1 層内の地下水を対象としている。

次に、それぞれの地域について、地下水の流速ベクトルを示す。図 28 および図 30 は、それぞれ青森平野、津軽平野の平面図で表層(第 1 層内)における流速ベクトルを表している。また図 29 および図 31 は、それぞれの地域の断面図における流速ベクトルを示しており(図 29 および図 31)、断面図の位置は、平面図中に表示されている。

流速ベクトルの長さは流速に比例し、図 28~図 31 のすべての図で同じスケールとなっている。図 28 および図 30 との比較から、青森平野のほう概して流速が高いことが明白である。

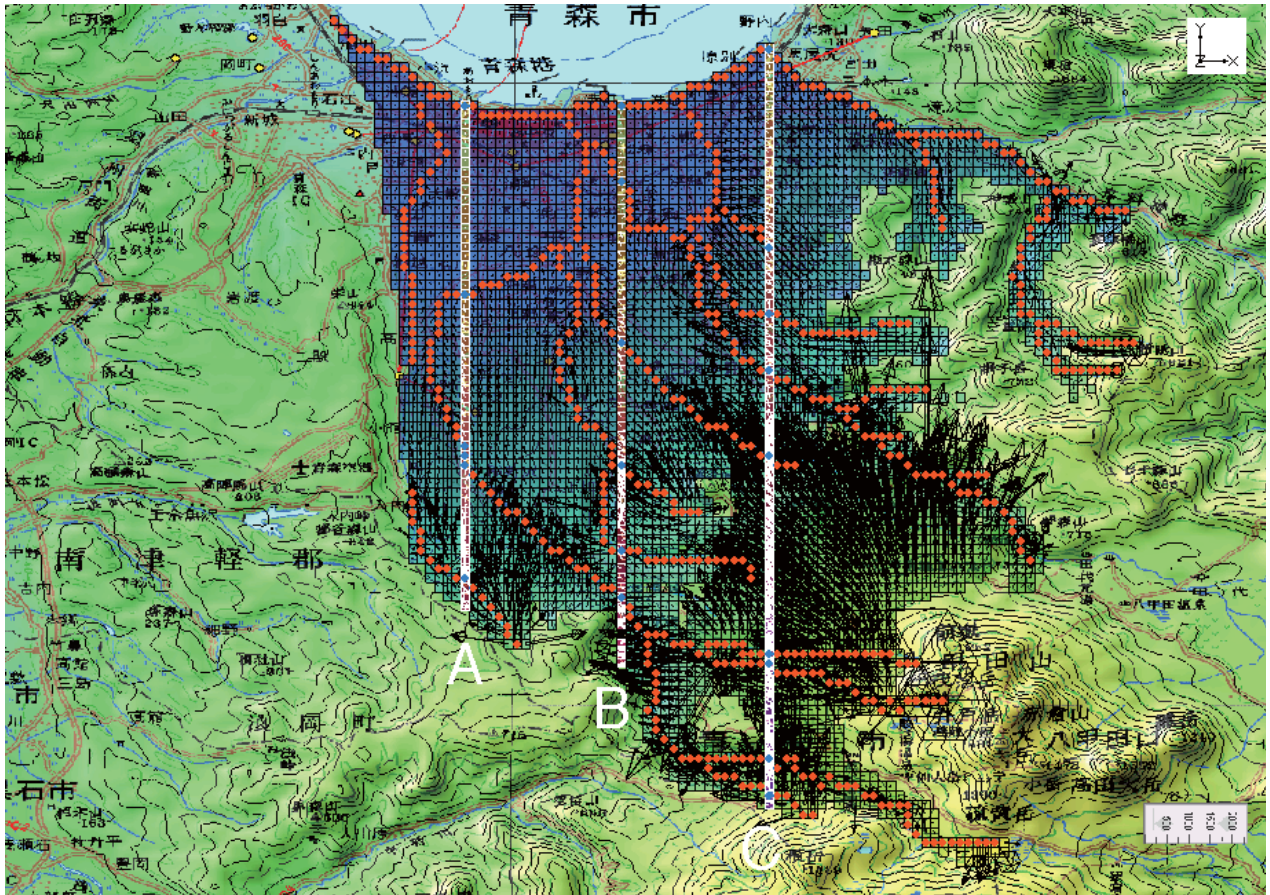


図 28 青森平野の第1層の地下水流速分布と断面位置。

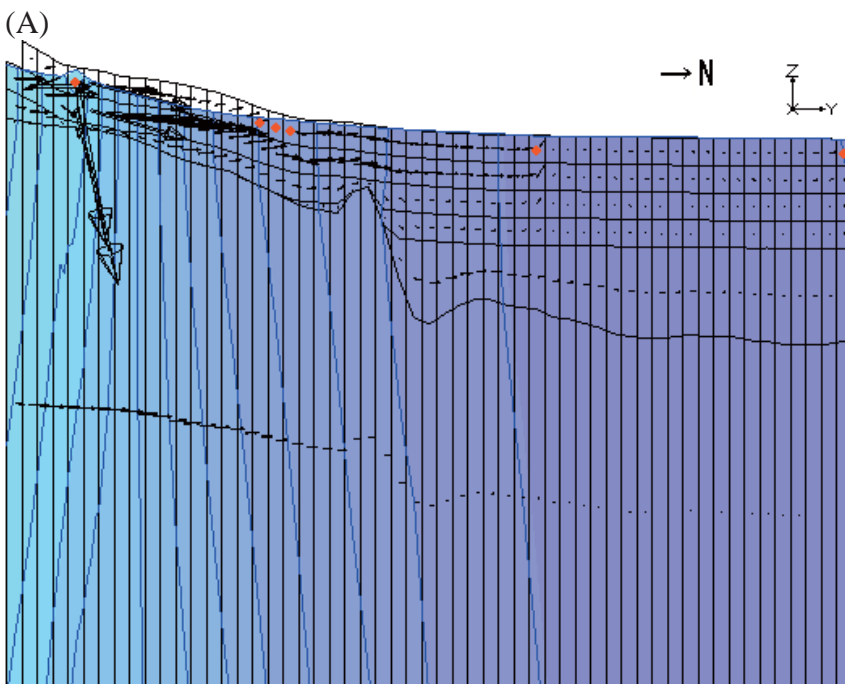


図 29(1) 青森平野南北断面の地下水流速分布(ベクトルスケールは上図と同様)

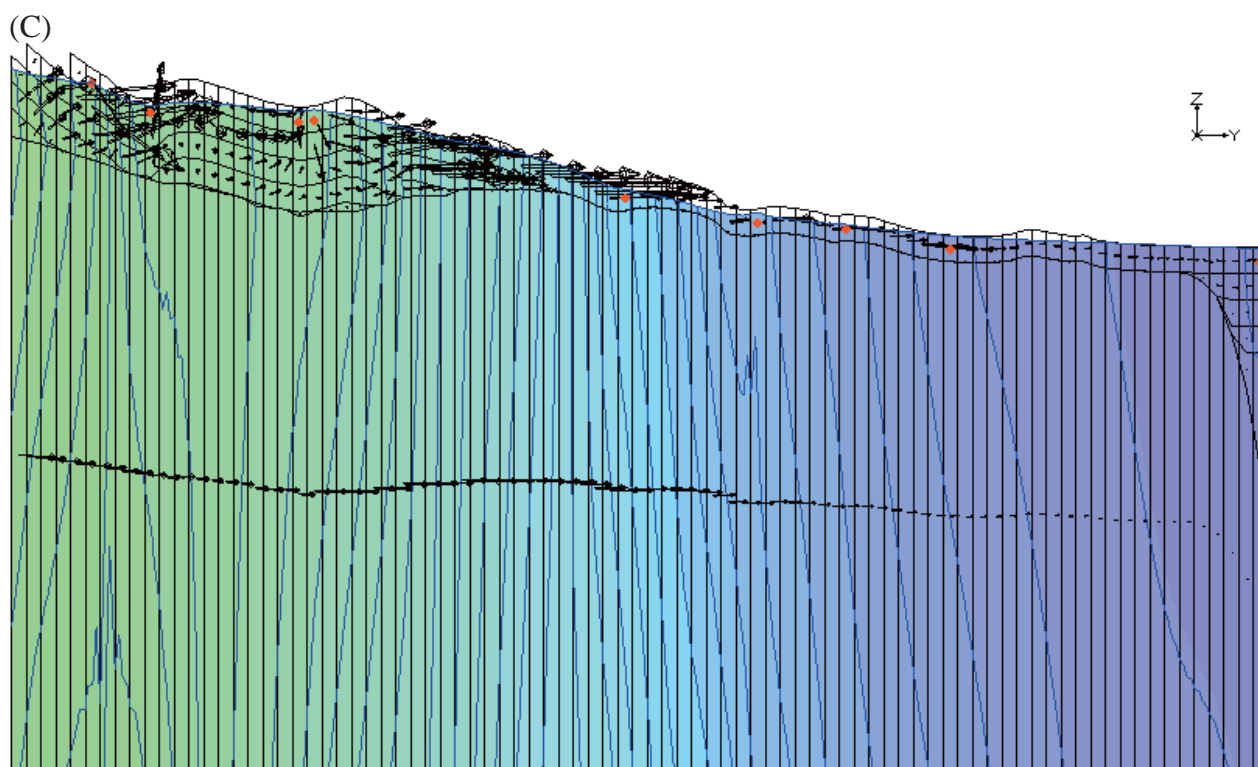
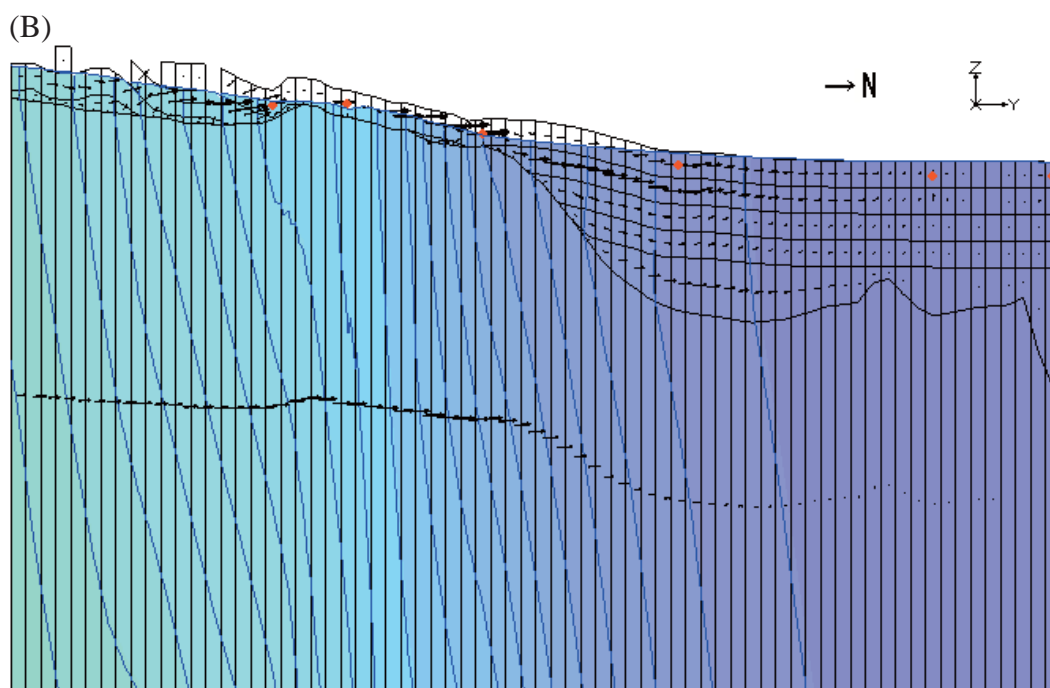


図 29(2) 青森平野南北断面の地下水流速分布(ベクトルスケールは上図と同様)
 表層では流速が高く、基本的に山側(南)から海側(北)に流れている。

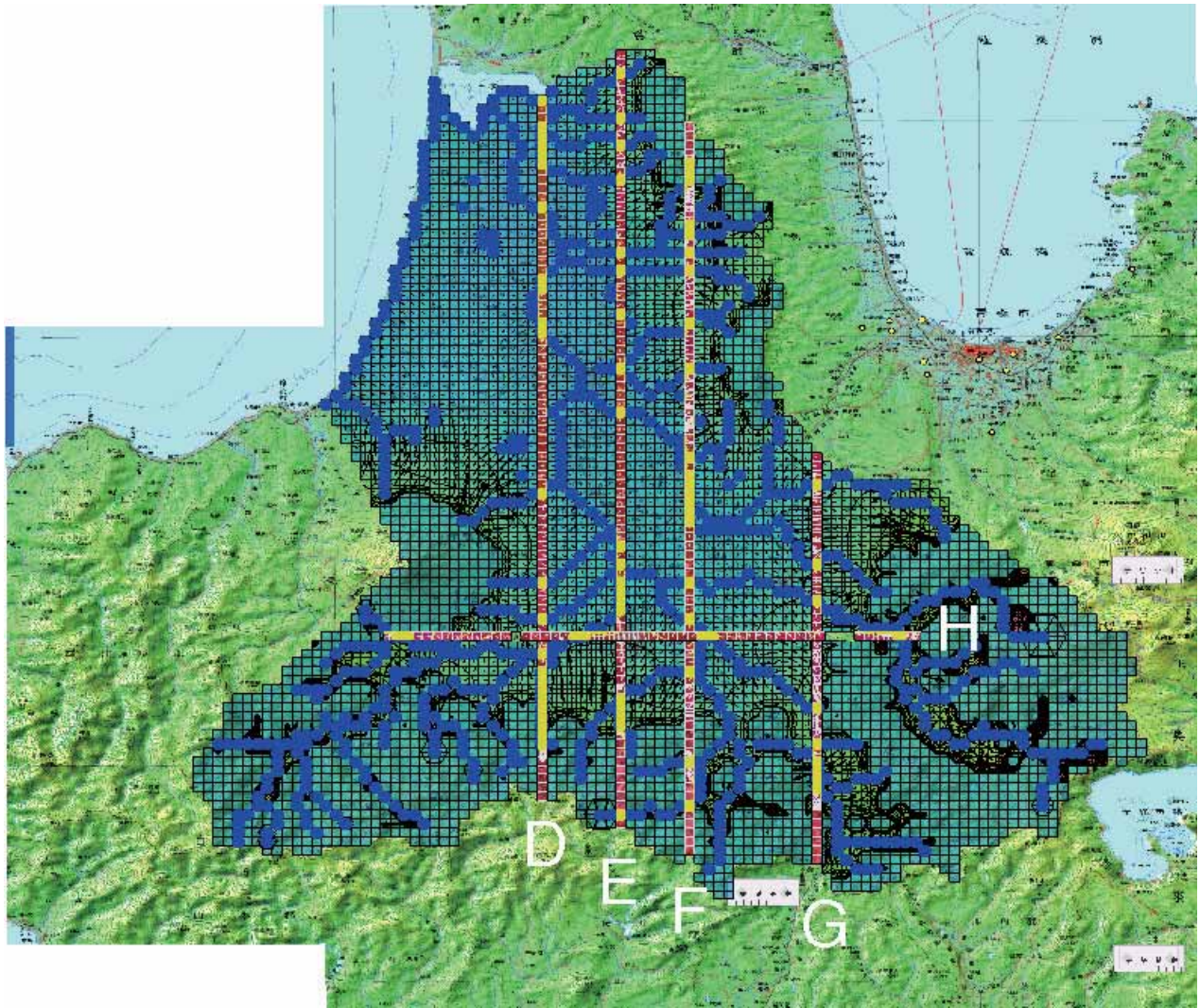


図 30 津軽平野の第1層の地下水流速分布と断面位置。

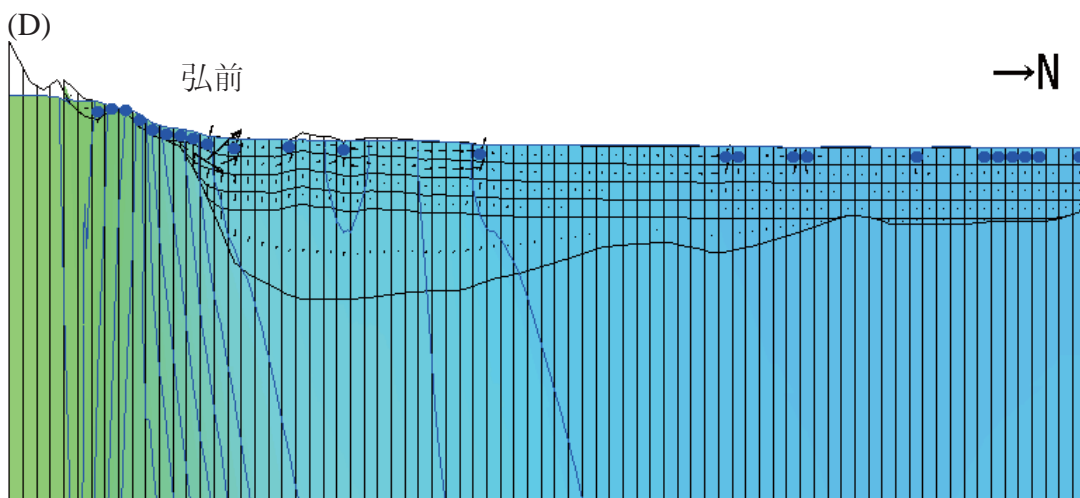


図 31(1) 津軽平野南北断面の地下水流速分布(ベクトルスケールは上図と同様)

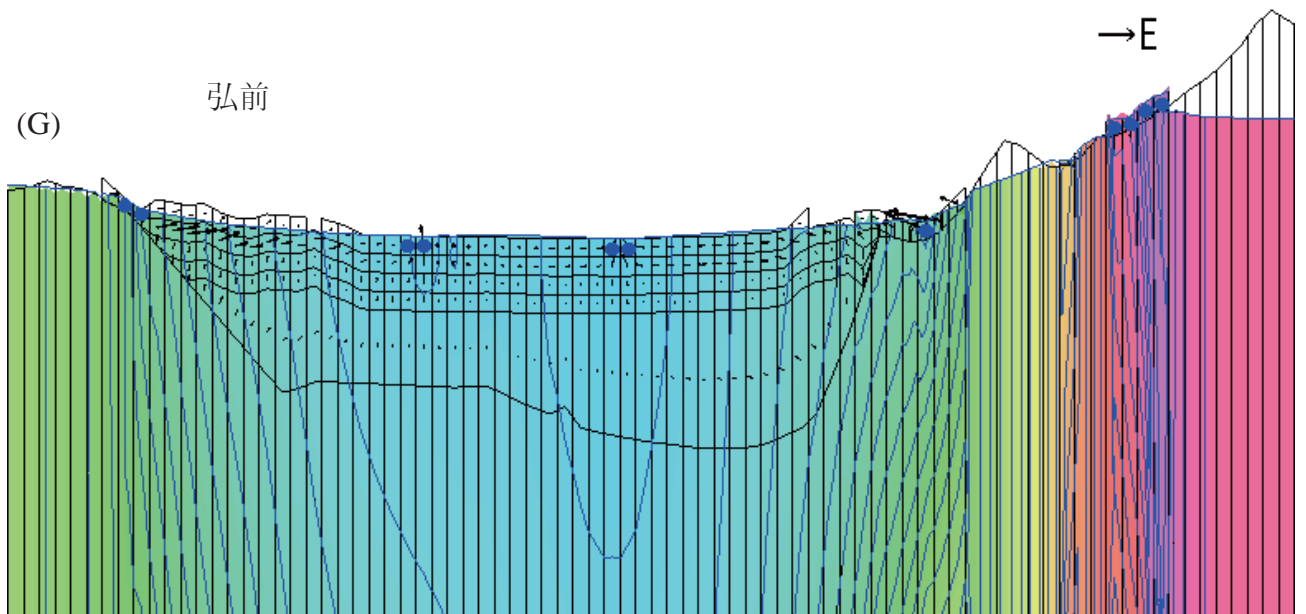
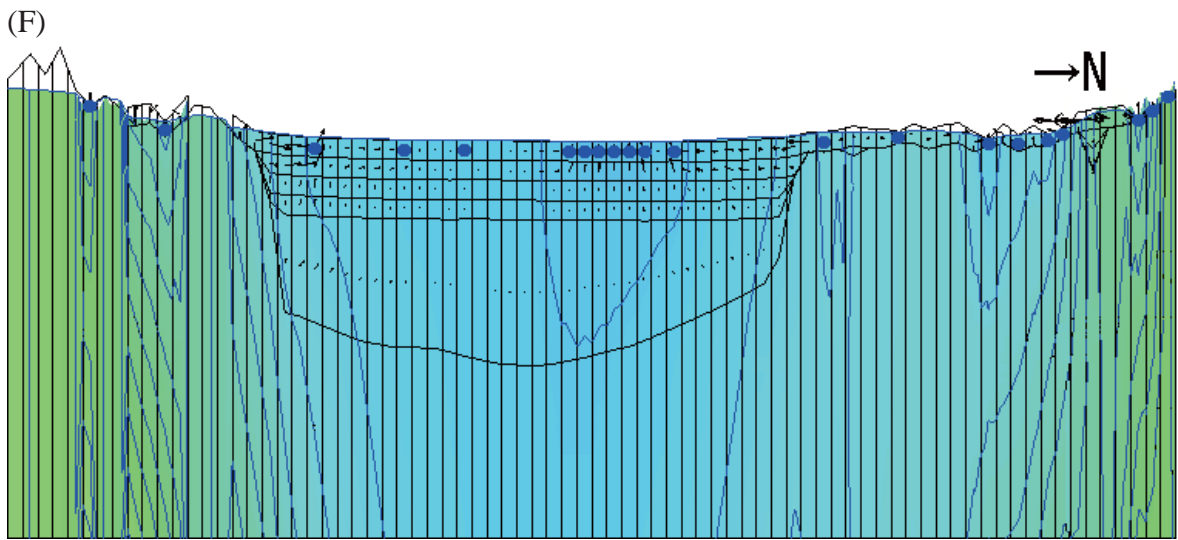
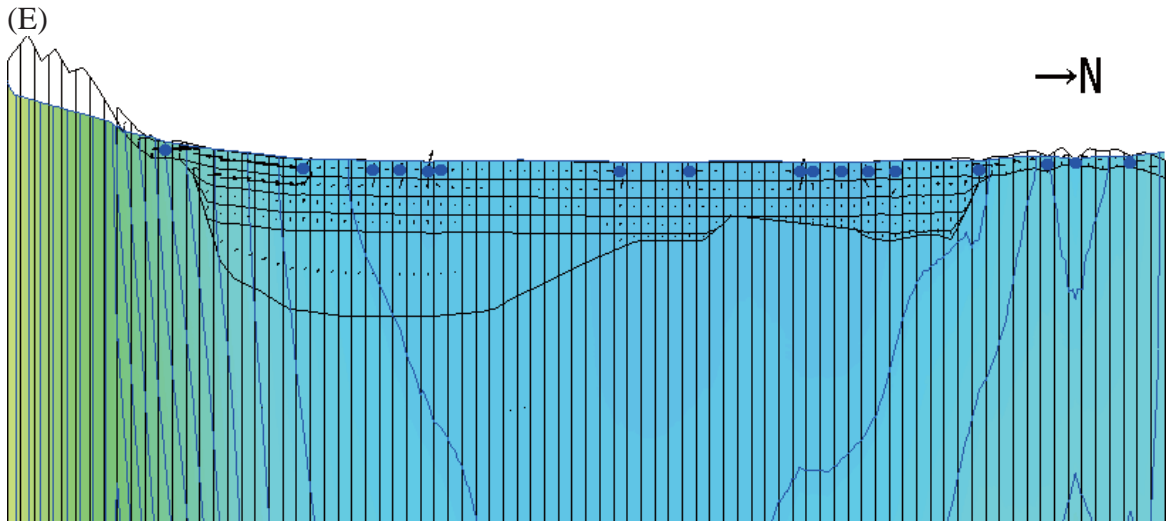


図 31(2) 津軽平野南北断面の地下水流速分布(ベクトルスケールは上図と同様)

平野内の流速は低く、海の方へ流れている。弘前付近では比較的流速が高く、地表へ流出している。

青森市平野についての広域地下水流動シミュレーションの結果によると、南部の山地から地下に浸透した地下水は、基盤深度が深くなる部分で急速に青森平野の堆積層内深部に流れ込み、平野内をゆっくりと北上して海に達する。山地に近い南部での流速は2.5cm/日程度（ $\approx 2.5 \times 10^{-7}$ m/s）と、比較的高く、ダルシー流速にして 8×10^{-8} m/sである。流出域である海岸に近い青森市付近では、地下水流速はそれより一桁程度流速が低い。

津軽平野についてのシミュレーション結果では、津軽平野南部では弘前市や黒石市に向かって一旦地下水が流れ込み、そこで上昇流が生じている。この上昇流によって、地下浅部が暖められると考えられる。このシミュレーション結果は、津軽平野の流出域のみならず弘前付近でも地下温度の実測値が高いことと、整合的である。弘前付近で上昇した地下水は、その後ゆっくりと平野内を北上し、海岸へ流出する。地下水の流速は、弘前>黒石>五所川原となっている。最も流速の速い弘前周辺の地下水の流速は1.5cm/日程度（ $\approx 1.5 \times 10^{-7}$ m/s）であり、ダルシー流速で 5×10^{-8} m/s、平野中心部から北西部の流出域では、それよりも1桁程度流速が低い。津軽平野は山地から海岸までの流域長が長く、地形の平均勾配が低いいため、平均的な流速は遅くなっている。

青森平野と津軽平野のシミュレーション結果では、青森平野のほうが地下水流速が高いものの、両者とも山地に近い最高速部でのダルシー流速が 10^{-8} m/sのオーダーであり、中流域から下流域では、それより1桁程度低く、採熱率の向上につながるほどの地下水流速は得られなかった。

このシミュレーションの計算グリッドはかなり粗いため、実際の3次元構造での微地形の影響等を考えると、採熱を行う各地点での局所的な地下水流速が、この計算値より1~2桁程度大きくなることはあり得るであろう。従って、このシミュレーションで流速が 10^{-7} m/sに近い値となった地域では、場所によっては局所的な地下水流速が 10^{-6} m/sのオーダーに達し、採熱率が向上する可能性がある。しかし、残念ながらそれはごく限られた場所と考えられ、殆どの場所では、熱交換井の長さを短くできるほどの地下水流速は得られない。

ただし、地下水流速がゼロに近い場合でも、岩盤が地下水で飽和されているだけでも、不飽和の場合より熱伝導率が高くなるので、地下水位が浅い場所のほうが、熱交換には有利である。シミュレーション結果でも、また多くの地点での実測値でも、青森市および弘前市の地下水位は大変浅くなっている。

4. まとめ

温度測定結果から、青森、弘前、八戸の3地域のうちでは、弘前周辺が最も地下温度が高く、津軽平野全体について温度が高い。これは、地下水流動シミュレーション結果において、弘前、黒石付近で地下水の上昇流が見られることから、深部からの熱が移流によって浅部に運ばれ、温度が高くなっていると考えられる。八戸でも比較的 температураが高いが、水系によって温度が異なっている。

また地下水流動シミュレーション結果では、青森平野のほうが全体的に津軽平野よりも平均的流速が高いものの、殆どの場所では、採熱率を上げるほど優位な地下水流速は得られない。ただし、地下水位が浅いことによる採熱率の向上は期待でき、青森市、弘前市はともに地下水位が高くなっている。

以上のように、弘前付近は、浅層地下温度が高いことと、地下水位が高いことから、地中熱による暖房に有利と考えられる。また青森市内は、温度は低いが、地下水位が高いので有効熱伝導率が比較的高いと考えられる。

資料3：単位深度あたり地中熱交換量の参考値

地中熱交換器から期待される採熱率 (Verein Deutscher Ingenieure, VDI.2001)

| 地質の状況 | 熱抽出 (W/m) | |
|--|-----------|--------|
| | 1800時間 | 2400時間 |
| 一般的な指標 | | |
| 未固結堆積物 (乾燥) 熱伝導率 < 1.5 (W/(m・K)) | 25 | 20 |
| 通常の岩盤, 水に飽和した堆積物 熱伝導率 < 1.5-3.0 (W/(m・K)) | 60 | 50 |
| 高い熱伝導率の固結した岩石 熱伝導率 < 1.5-3.0 (W/(m・K)) | 84 | 70 |
| 堆積物・岩石 | | |
| 砂, 礫 (乾燥) | <25 | <20 |
| 砂, 礫 (水に飽和) | 65-80 | 55-65 |
| 強い地下水流動を伴う礫層, 砂層 | 80-100 | 80-100 |
| 粘土, ローム (水を含む) | 35-50 | 30-40 |
| 石灰岩 | 55-70 | 45-60 |
| 砂岩 | 65-80 | 55-65 |
| 酸性火成岩 (花崗岩など) | 65-85 | 55-70 |
| 塩基性火成岩 (玄武岩など) | 40-65 | 35-55 |
| 片麻岩 | 70-85 | 60-70 |

条件： 地中熱交換井長さ 40～100m

坑井間隔 5～6m

Uチューブ 2本 (ダブル)

注意： 値は岩石の状態 (割れ目の発達, 面構造, 風化など) により大きく変化する

図中の1800時間, 2400時間は年間運転時間

出典： 大谷, 安川ほか：スイス・スウェーデンにおける地中熱利用の研究動向,
地熱エネルギー, Vol. 28, 88p., (2003).

資料 4：先進地調査報告

1. サンポット(株)札幌支店(12月20日、13:30～14:00)

サンポット(株)札幌支店会議室内での配布資料による説明であった。サンポット社は国内で初めて家庭用ヒートポンプを量産化した会社である。サンポット社のヒートポンプは、これまでの輸入機器と比べてコストは1/3となっている。同社のヒートポンプは非常に小型でコンパクトであり、しかもラインポンプや制御盤も内蔵している。本ヒートポンプは平成19年3月現在で約160台以上の販売実績があり今シーズンも販売が好調のようであった。また配布資料には、北海道内でヒートポンプを納めた事例や導入効果などが、細かく纏められており個別住宅における地中熱利用空調の先進地であることを実感した。また、北海道の場合は、地中熱交換器設置業者、ヒートポンプメーカー、電力会社そして大学とが一致協力体制となって地中熱利用の普及に積極的である印象を受けた。

2. カトウ薬局(12月20日 15:00～15:30)

①見学目的

青森県地中熱利用推進ビジョン内での事業モデルとして、個別住宅を提案する予定である。実際に地中熱利用の先進地である札幌市内の個別住宅に導入してある地中熱利用暖房システムを視察することで、本ビジョン内の個別住宅の導入モデル構築としての参考とするため見学した。

②施設概要

- ・ 場所：北海道札幌市内
- ・ 建物構造； 次世代省エネ基準 $1.6\text{W}/\text{m}^2 \cdot ^\circ\text{C}$
- ・ 暖房（床暖房）面積 1F;106.825m² 2F;57.89m² 計 164.71m²
- ・ 暖房負荷；外気温-12℃ 室内温；22℃ $\Delta t=34^\circ\text{C}$
- ・ $164.71\text{m}^2 \times 1.6\text{W}/\text{m}^2 \cdot ^\circ\text{C} \times 34^\circ\text{C} = 8.96\text{KW}$
- ・ 地中熱交換器兼用基礎杭；地中採熱量(20W/m)×(10m/本×45本)=9.0KW
- ・ 融雪面積；86.6m² 4.53KW/h

③得られた所見

カトウ薬局内は地中熱利用空調（床暖房）＋省エネ基準の建築構造の恩恵を受け、室内はポカポカして快適なものであった。ランニングコストについては、ガスや電気を含めた値となっているため、地中熱利用部分のみについては把握することはできなかったが、地中熱利用空調システム導入前と比べて安価なシステムとなっているようだ。融雪については、最低限の供給熱量で賄っているようであった。本箇所の融雪の設計思想が極寒の場合は雪が解けなくても良いということで、必要最低限の地中熱交換器で賄っているという印象を受けた。本地中熱利用推進ビジョン策定における個別住宅のモデル構築の視察としてはふさわしい場所であった。



写真1 カトウ薬局視察状況

3. 神内ファーム(12月20日、16:30～17:30)

① 見学目的

積雪地に建設された地中熱利用農業システムを実際に設置した先進導入例を視察することで、青森県内に地中熱利用農業ハウスを導入する場合での導入適応性の調査を目的とした。

② 神内ファーム地中熱利用農業ハウス建物概要

- ・ 場所：北海道樺戸郡浦臼町
- ・ 地中熱利用ハウス建物構造： 構造；鉄骨エア－ハウス、延床面積；1,000m²
- ・ " 設備概要： ヒートポンプ；加熱能力；36.6KW、冷却能力；38.8KW
- ・ 融雪面積；145m²、地中加温・冷却面積 360m²
- ・ (空気加温はボイラを使用している。)
- ・ " 地中熱交換器： シングルUチューブ方式 90m×8 本
- ・ 温室用途：フルーツ栽培

③ 得られた知見

地中熱利用システムの用途については、代表用途として冷暖房・給湯・融雪等が挙げられるが、近年その適用対象としてハウス農業への利用が徐々に増えている。神内ファーム以外では、青森県農林総合研究センターによる地中熱・風力利用ハウス栽培支援システムや九州大学工学院と九州電力(株)総合研究所による農業用ハウスを対象とした地中熱利用空調システムの実証試験などである。地中熱利用農業ハウス暖房システムを利用する場合は、供給温度と経済性の観点から地中加温は地中熱利用、空気加温はボイラなど、地中熱と他の熱源と併用することで経済性を高めて地中熱利用の優位性が確保ができることを本施設で確認した。



写真2 神内ファーム地中熱利用ヒートポンプ・暖房用配管

3. (株)アレフ(12月21日、13:00~15:00)

① 見学目的

(株)アレフは、地中熱利用・木質ペレット・BDF(バイオディーゼル燃料)精製などを自社で行っており環境負荷低減に積極的な企業である。先進的企業である(株)アレフの北海道工場やえこりん村を視察することで青森県地中熱利用推進ビジョン策定における地中熱利用を民間企業へ導入した場合における適応性や導入可能性を調査するために見学を行った。

② えこりん村施設概要

(1) 天満食堂地中熱利用空調システム

- ・ 地中熱利用空調面積： 約 400m²
- ・ " 空調設備： ヒートポンプ加熱能力；33KW+11KW(補助)
- ・ ヒートポンプメーカー；ゼネラルヒートポンプ
- ・ 地中熱交換器： 100m×14 本

(2) 花の牧場

- ・ 地中熱利用空調面積： 約 400m²
- ・ " 空調設備： ヒートポンプ加熱能力；44KW+100KW(補助ボイラ)
- ・ ヒートポンプメーカー；ゼネラルヒートポンプ
- ・ 地中熱交換器： 100m×25 本

(3) 北海道工場

- ・ 地中熱利用空調設備：30KW×4台（水冷ビルマル）
- ・ ペレットボイラ
- ・ バイオマスエネルギー回収装置
- ・ 地中熱利用の廃熱を利用した冷蔵 他

③ 得られた知見

(株)アレフは、地中熱利用空調、バイオマス、木質ペレットボイラなど、近年話題となっている省エネ装置を組み合わせた省エネベストミックスに積極的に取り組んでいた。灯油使用量をゼロにすることで工場由来のCO₂の55%を削減達成している。

ただし、本施設のような省エネ施設は、相当なイニシャルコストがかかっていることと思われるため、民間企業においてこのような省エネ施設を普及させていくためには、国等による支援の継続・拡充が必要と思われる。



写真3 地中熱利用ヒートポンプ(空調用ビルマル)



写真4 地中熱交換井循環用ヘッダー

業務部門対策技術率先導入補助事業

（担当：地球環境局地球温暖化対策課）

20年度予算額 19億円

目的・意義

京都議定書の6%削減約束を確実に達成するためには二酸化炭素排出量の増加が著しく、増加に歯止めのかからない業務部門における実効性かつ即効性のある対策の推進が不可欠です。

そこで、業務部門における二酸化炭素排出量の大幅な削減を実現するような、先進的かつ先導的な代エネ・省エネ設備の効果的な導入を行うモデル的な取組に対し支援を行うものです。

事業内容

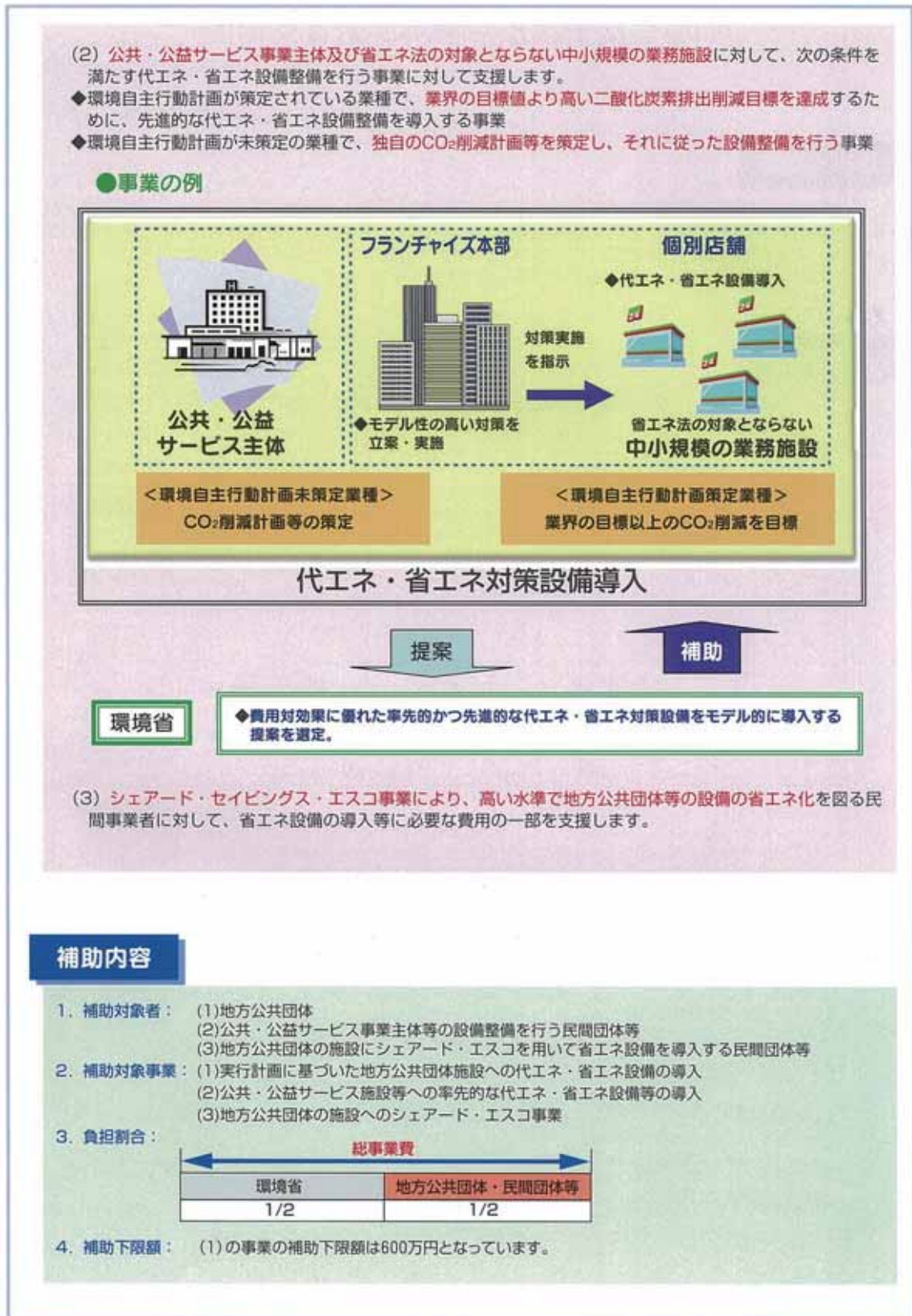
(1) 地方公共団体が所有する業務用施設に、地球温暖化対策の推進に関する法律に基づき策定した実行計画により、以下の要件を満たす代エネ・省エネ設備導入を行う事業に対して支援します。

なお、普及啓発効果やCO₂削減量などを明記したCO₂削減計画を策定していただき、効果の大きい提案を選定することとします。

| 対象施設・設備 | 対象の条件 |
|-------------------|--|
| (I) 代替エネルギー設備 | |
| ア 太陽光発電 | 定格出力が20kW以上。 |
| イ 燃料電池 | 発電出力が1kW以上で、かつ発電効率が30%以上（低位発熱量基準）。 |
| ウ バイオマス熱利用 | バイオマス利用率が80%以上（低位発熱量基準）で、かつCO ₂ 削減率が15%以上。 |
| エ バイオマス燃料製造 | バイオマス利用率が80%以上（低位発熱量基準）で、かつエネルギー回収率が50%以上。 |
| オ バイオエタノール利用 | CO ₂ 削減率が10%以上。 |
| カ 地中熱利用 | ヒートポンプの加熱能力が50kW以上。 |
| キ 小水力発電 | 発電出力が1,000kW以下。 |
| ク その他の代替エネルギー利用設備 | ア～キに掲げる事業と同等以上のCO ₂ 削減効果を有する設備であって、CO ₂ 削減率が10%以上でかつCO ₂ 削減費用が1万円/t-CO ₂ 以下。 |
| (II) 省エネルギー設備 | 以下の要件をすべて満たすもの。 ①建物全体の省CO ₂ 化を図るもの、または、新規性の高い省CO ₂ 設備を一斉導入するもの。 ②CO ₂ 削減率が10%以上で、かつCO ₂ 削減費用が1万円/t-CO ₂ 以下。 |

1. バイオマス利用率…全燃料の低位発熱量に対するバイオマスの低位発熱量の割合
2. 省CO₂率…従来システムによる年間CO₂排出量に対する年間CO₂削減量の割合
3. エネルギー回収率…原料の発熱量およびバイオマス燃料の製造に要する熱量の合計に対するバイオマス燃料の発熱量の割合
4. CO₂削減費用…補助金額を設備の法定耐用年数を通じたCO₂の総削減量で除した値
5. CO₂削減率…従来システムによる年間CO₂排出量に対する年間CO₂排出削減量の割合

資料 5：補助金関係資料（環境省補助金）



再生可能エネルギー導入加速化事業

（担当：地球環境局地球温暖化対策課）

20年度予算額 5億円

目的・意義

京都議定書目標達成計画に沿って、地域の特色ある再生可能エネルギーを地産地消し、地域全体での効率的なCO₂削減を実現するモデル地域を整備するため、地域における再生可能エネルギーの集中的な導入を支援します。また、家庭部門における再生可能エネルギー利用技術の導入を加速させるため、低炭素住宅の整備に係るモデル的取組を推進する地方公共団体に対して、支援します。

事業内容

(1) 再生可能エネルギー高度導入モデル地域整備事業

地球温暖化対策推進法に基づく地球温暖化対策地域推進計画等の中で、地方公共団体が再生可能エネルギーの導入を位置づけており、そのエリアの民生部門から排出されるCO₂を10%程度削減するために、集中的に複数の再生可能エネルギーを導入する具体的な計画を地方公共団体が策定し、国がこれを認定した場合において、当該計画に位置づけられた再生可能エネルギー導入事業主体（民間団体）に対して、支援します。



(2) 再生可能エネルギー導入住宅地域支援事業

省CO₂効果の高い構造の住宅に再生可能エネルギーを導入した低炭素住宅を普及させるため、一定以上のCO₂削減効果を持つ新築住宅等に対して、再生可能エネルギー利用設備の導入を支援する地方公共団体の先進的な取組に対して支援します。



補助内容

1. 補助対象者：
 - (1) 再生可能エネルギーの導入を行う民間団体
 - (2) 再生可能エネルギーの導入支援を行う地方公共団体
2. 補助対象事業：
 - (1) 地域への集中的な再生可能エネルギー導入のための設備整備事業
 - (2) 地方公共団体による住宅への再生可能エネルギーの導入支援事業
3. 負担割合

| 総事業費 | |
|------|-------------|
| 環境省 | 民間団体・地方公共団体 |
| 1/2 | 1/2 |

低炭素社会モデル街区形成促進事業

(担当：(1)水・大気環境局大気生活環境室/地下水・地盤環境室 (2)地球環境局地球温暖化対策課)

20年度予算額 11億円

目的・意義

宅地や商業地域等の大規模再開発の機会等をとらえて、CO₂削減だけでなく、ヒートアイランド対策としても有効な温暖化対策技術を組み合わせ、面的な広がりを持ったエリアに集中的に導入し、個別対策の集積だけでは得られないCO₂削減及びヒートアイランド対策をもたらすモデル事業を実施します。

事業内容

(1) クールシティ中枢街区パイロット事業 (7億円)

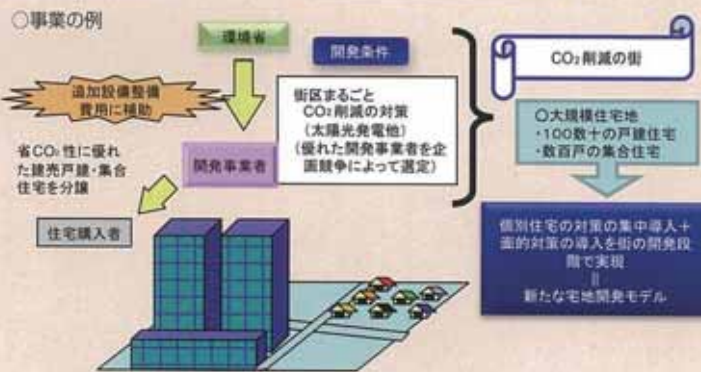
ヒートアイランド現象の顕著な街区において、CO₂削減効果を兼ね備えた施設緑化や保水性建材、高反射性塗装、地中熱ヒートポンプなど複数のヒートアイランド対策技術を組み合わせて一体的に実施する事業に対して補助を行います。これにより、都市部にクールスポットを創出し、ヒートアイランド現象の緩和等を図ります。



・都市におけるヒートアイランド現象の緩和
・ヒートアイランド対策技術の普及促進

(2) 街区まるごとCO₂削減事業 (4億円)

大規模宅地開発などの機会をとらえ、デベロッパー、地権者、地方公共団体等の関係者が協調し、CO₂の大幅な削減を見込める対策をエリア全体、複合施設で導入し、街区等のエリアをまるごと省CO₂化する面的対策を行う事業に対して支援します。




補助内容

1. 補助対象者：街区開発を行う民間団体等
2. 対象事業：(1) モデル街区区内における都市の省CO₂化に資するヒートアイランド対策の導入事業
(2) CO₂削減に要する追加的設備の整備 ※(2)の事業効果の評価検証については民間団体に委託して実施
3. 負担割合

| | |
|------|-------|
| 総事業費 | |
| 環境省 | 民間団体等 |
| 1/2 | 1/2 |

住宅・建築物高効率エネルギーシステム導入促進事業 (建築物)




■事業の概要
 住宅・建築物高効率エネルギーシステム(空調、給湯、照明及び断熱部材等で構成)(以下「当該システム」という。)を住宅・建築物(*注1)に導入する場合に、その経費の一部を補助する。
 注1:建築物とはオフィスビル等の民生用建築物であること。

■対象事業等
 (1)対象事業(要件)
 ①当該システムを建築物に導入すること。
 ②新築、増築及び改築の建築物の場合、建物全体の標準年間エネルギー消費量を15%程度削減できること(10%未満は審査対象外とする。)
 ただし、エネルギーの使用の合理化に関する法律に基づき、「建築物に係るエネルギーの使用の合理化に関する建築主の判断の基準」(平成15年2月24日経済産業省・国土交通省告示第1号)に準じた性能を満たすものであること。
 ③既築の建築物の場合、建物全体の過去3年間のエネルギー消費量平均値を25%程度削減できること(10%未満は審査対象外とする。)
 ④エネルギー管理体制・補助事業の遂行能力を有すること。
 ⑤当該システム導入後、3年間継続して省エネルギーに関する報告が可能なこと。

21

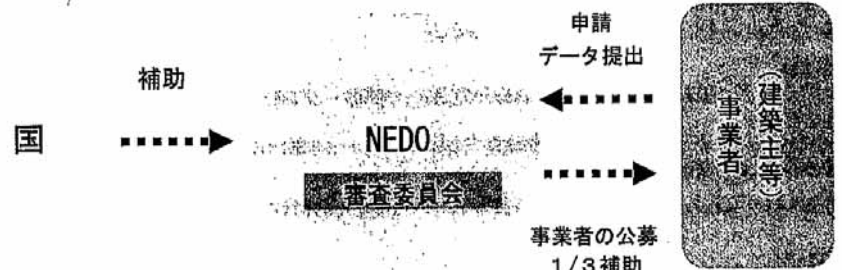
住宅・建築物高効率エネルギーシステム導入促進事業 (建築物)



(2)補助対象者
 当該システムを既築、新築、増築及び改築の民生用の建築物に導入する際の建築主等(所有者)、ESCO(シェアードセイビング)事業者、リース事業者。

(3)補助率
 1/3以内

■実施のスキーム



22

出典：小泉（2007）地中熱ヒートポンプに対する補助事業(及びその事例)の紹介、
 地中熱利用促進協会特別講演会資料（※平成18年度事業についての説明）

住宅・建築物高効率エネルギーシステム導入促進事業 (住宅) (NEDO)

事業概要

NEDOが指定する高効率エネルギーシステム(空調、給湯、太陽光等発電で構成)を既築、新築、増築・改築の住宅に建築主が導入する際、または既築の住宅を次世代省エネルギー基準に住宅の所有者が断熱改修する際にその費用の一部を補助

補助率等

1/3以内(太陽光等発電システムについては上限有)

補助実績等

| | 18年度 | 累積 |
|----|-------|-------|
| 住宅 | 1270件 | 6103件 |

予算(18年度) 51.6億円(住宅・建築物・BEMS合計)

事業期間 1999年～

住宅・建築物高効率エネルギーシステム導入促進事業 (住宅) (NEDO)

(1)補助対象者
住宅の建築主
(当該住宅を所有し、常時居住する個人)

(2)対象要件

①「新築」

- ・「住宅の品質確保等に関する法律(品確法)」に基づく「建設住宅性能評価」を申請し、「温熱環境に関する評価」の「省エネルギー対策等級」において「等級4」を取得すること。
- ・次世代省エネルギー基準仕様の住宅を新築し、指定システムの導入により一次消費エネルギー量を標準消費エネルギー量に比べ15%程度削減できること。

②「既築」

- ・指定システムの導入により、リフォーム部分の過去一年間の一次消費エネルギー量の実績を25%程度削減できること。
- ・次世代省エネルギー基準仕様に断熱改修する場合、リフォーム部分の過去一年間の一次消費エネルギー量の実績を25%程度削減できること。

③当該システム導入後、3年間継続して省エネルギーに関する報告が可能なこと。

(3)補助率
1/3以内

出典：小泉（2007）地中熱ヒートポンプに対する補助事業(及びその事例)の紹介、
地中熱利用促進協会特別講演会資料（※平成18年度事業についての説明）

資料 5：補助金関係資料（NEDO 補助金）

| | |
|----------------|---|
| 事業名 | 地域新エネルギー・省エネルギービジョン策定等事業 |
| 目的 | 地方公共団体等が新エネルギーの導入や地域住民への普及啓発を図るために必要となる「ビジョン」策定に要する費用の補助を行う。 また、個別プロジェクトにおける事業化フィージビリティスタディに要する費用についても補助を行う。 |
| 助成対象 | ビジョン策定調査：地方公共団体（広域地域を含む）及び地方公共団体の出資に係る法人 事業化フィージビリティスタディ調査：当該事業を実施する者 |
| 制度内容 | <p>○対象事業</p> <ul style="list-style-type: none"> ・地域新エネルギービジョン策定調査 初期段階調査：新エネルギー賦存量、利用可能量の分布等の調査。 ビジョン策定：基本計画、施策の方向、重点プロジェクト等の策定。 ・地域省エネルギービジョン策定調査 初期段階調査：エネルギー需要、潜在的省エネ可能性量等の調査。 ビジョン策定：基本計画、施策の方向、重点プロジェクト等の策定。 （ESCO方式の活用を含む） ・重要テーマに係る詳細ビジョン策定調査（省エネ・新エネ共通） 地域新・省エネルギービジョン等に基づく、システム具体化の検討。 （新エネルギー重点ビジョン限り）地域新エネルギービジョン策定調査で検討しなかったバイオマス、蓄氷冷熱を対象としたビジョンの策定。 （省エネルギービジョンに限り）重点テーマ（地域でのESCO事業、運輸部門におけるITS・EST導入、公共施設の省エネ、一般業務ビルの省エネ、エネルギー面的利用、HEMS・BEMSの普及）に係るプロジェクトの検討。 ・事業化フィージビリティスタディ調査（省エネ・新エネ共通） 地域新・省エネルギービジョン等に基づき実施されるプロジェクトで、特にモデル性の高い重要なものの事業化調査。 <p>○補助率 定 額</p> |
| 所轄省庁 （申請窓口） | 独立行政法人新エネルギー・産業技術総合開発機構 （NEDO技術開発機構）エネルギー対策推進部普及・啓発グループ TEL 044-520-5182 |

出典：エネルギー・温暖化対策に関する支援制度について（省エネルギー・新エネルギー関係）
関東地域エネルギー・温暖化対策推進会議事務局，平成20年1月編集より

※ 本ビジョンで構築した事業モデルの一部は、上記の「事業化フィージビリティスタディ調査」に応募可能な案件である。

資料5：補助金関係資料（農林水産省補助金）

| | |
|----------------|--|
| 事業名 | 省石油型園芸技術導入推進事業 |
| 目的 | 施設園芸分野における温室効果ガス排出量を削減するため、省エネルギー効果・温室効果ガス排出量削減効果の高い温室用加温設備等のモデル導入を促進する。 |
| 助成対象 制度内容 | 民間団体等 ○内 容 高い温室効果ガス削減効果を持つ以下の施設園芸用加温設備及び高断熱被服設備の導入を支援する。 (1) 先進的省エネルギー加温設備 ①木質バイオマス利用加温設備 間伐材等を利用したペレットを燃料とする温室用加温設備。 ②ハイブリッド加温設備 従来の石油燃料炊き加温機とヒートポンプを組み合わせた温室用加温設備。 (2) 高断熱被服設備 ①高断熱エアハウス パイプハウスに二枚の被服資材を重ねその間にブロワによる高圧空気で充てんすることにより断熱層（空気膜）を持つ高断熱被服設備。 ②三層被服設備 内張カーテンを多層化することで高い保温性を確保できる高断熱被覆設備。 ○補助率 定額（1/2以内） |
| 所轄省庁 (申請窓口) | 農林水産省生産局園芸課 TEL 03-3502-5957 |

| | |
|----------------|---|
| 事業名 | 施設園芸脱石油イノベーション推進事業 |
| 目的 | 冬の加温のために重油を使用している施設園芸では、価格の高騰が続く石油資源への依存度が高いことが課題となっており、石油に頼らない施設園芸を実現するためにトリジェネレーションシステムや小型水力発電を利用した温室、集出荷施設等を導入する。 |
| 助成対象 制度内容 | 農業者団体、民間団体 ○内 容 (1) 石油消費量を低減する革新技术の導入 モデルとなる地区において、 ①エネルギーの利用効率を大幅に高めるトリジェネレーションシステム、農業用水を利用した小型水力発電等に対応した省エネルギーモデル温室 ②トリジェネレーションシステム等に対応した集出荷施設（ヒートポンプによる予冷、二酸化炭素の利用によるCA貯蔵等）、余剰電力を利用した電気自動車による収穫物等の輸送体制 (2) 導入指針の作成 上記の革新技术について、導入指針の作成等、今後の普及に向けた取組を推進する。 ○補助率 1/2以内、定額 |
| 所轄省庁 (申請窓口) | 農林水産省生産局園芸課 TEL 03-3502-5957 |

出典：エネルギー・温暖化対策に関する支援制度について（省エネルギー・新エネルギー関係）
関東地域エネルギー・温暖化対策推進会議事務局，平成20年1月編集より

※ 本ビジョンにおけるハウス農業関係の事業モデルは、地中熱あるいは地下水熱利用ヒートポンプ単独のため、上記制度内容には合致しないが、参考までに掲載するものである。

資料 5 : 補助金関係資料 (NEDO 補助金)

(4) 調査C-2

1. 目的

- ・ 200℃以下の地熱資源まで活用する中小規模 (1万kW未満) 地熱発電所を想定した地熱貯留層の存在が期待される地域で、精査に近い段階まで調査を行い、地熱資源量の概略を把握し、地方公共団体及び民間企業等による開発を誘導し、地熱発電の開発促進を図ることを目的とします。

2. 標準的な調査内容

a. 地表調査

- ・ 物理探査、流体地化学調査、地質・変質調査

b. 坑井調査

- ・ 調査井掘削、坑内調査、敷地測量・造成

c. 環境影響調査

- ・ 温泉変動調査

d. 総合解析

- ・ 資源量評価
- ・ 経済性評価

(4) Survey C-2

1 Objective

- ・ In order to develop a relatively small geothermal power station (under 10MW) which uses less than 200℃ reservoir, in the area where a very promising geothermal reservoir is expected, a detailed survey is conducted to assess the reservoir potential. The results are expected to reduce financial and technical risks of local autonomies and private geothermal developing companies, and consequently the geothermal power development is promoted.

2 Survey for geothermal resources evaluation

a. Ground surface survey

Geophysical exploration

Geochemical survey

Geological survey

b. Well survey

Exploratory wells

Land survey and formation

c. Environmental impact study

Hot spring

d. Integrated evaluation

Evaluation of reservoir potential

Feasibility study

| 調査 C-2 Survey C-2 | 1 年目 1st year | 2 年目 2nd year |
|---|------------------|------------------|
| I. 地表調査 Surface survey 1. 物理探査 Geophysical exploration 2. 流体地化学調査 Geochemical survey 3. 地質・変質帯調査 Geological survey | | |
| II. 坑井調査 Environment survey 1. 調査井掘削 Exploratory wells 2. 坑内調査 Well survey 3. 敷地測量・造成 Land survey and formation | | |
| III. 環境影響調査 Environmental impact study 1. 温泉変動調査 Hot spring | | |
| IV. 総合解析 Integrated evaluation 1. 資源量評価 Evaluation of reservoir potential 2. 経済性評価 Feasibility study | | |

出典 : NEDO (2007) 地熱開発の現状 地熱開発促進調査 パンフレットより

資料6：青森県地中熱利用推進ビジョン策定委員会名簿

・委員

(委員長以外は五十音順)

| 所 属 | 職 名 | 氏 名 |
|---|----------------------|-------|
| (委員長) 国立大学法人弘前大学 | 理工学部長・ 理工学研究科長 | 南條 宏肇 |
| 青森県設備設計事務所協会 | 理事 | 鎌田 英夫 |
| 独立行政法人産業技術総合研究所 地圏資源環境研究部門CO2 地中貯留研究グループ | 主任研究員 | 相馬 宣和 |
| 国立大学法人北海道大学 大学院工学研究科空間性能システム専攻 | 教授 | 長野 克則 |
| 国立大学法人東北大学 大学院環境科学研究科環境科学専攻 | 教授 | 新妻 弘明 |
| 有限責任中間法人青森県さく井地質調査業協会 技術委員会 | 副委員長 | 森下 純 |
| 独立行政法人産業技術総合研究所 地圏資源環境研究部門地下水環境研究グループ | 主任研究員 | 安川 香澄 |
| 日本原燃株式会社 | 理事・青森本部部長 兼 広報部部长 | 渡辺 搖 |

・オブザーバー

| |
|--|
| 経済産業省 東北経済産業局資源エネルギー環境部エネルギー課 |
| 独立行政法人新エネルギー・産業技術総合開発機構 エネルギー対策推進部普及・啓発グループ |
| 東北電力株式会社 青森支店 |

参考文献

- 青森県（2006）青森県エネルギー産業振興戦略。
- 青森県（2000）青森県地域新エネルギービジョンー豊かな自然で創る青森のエネルギー、今・未来ー。
- 盛田耕二（2004）眠っているエネルギー資源ー地中熱。資源・素材2004（盛岡），S1-5，51-54。
- 北海道大学地中熱利用システム工学講座（2007）地中熱ヒートポンプ，p.15。
- NEF（2003）（続）日本の地熱直接利用の現状（2003年1月）「地中熱（土壌熱）利用」について，地熱エネルギー，28，160-169。
- 環境省水・大気環境局（2007）平成18年度地中熱利用ヒートポンプシステムに関する資料収集業務報告書。
- NEDO（2006）地球熱利用システムパンフレットー地中熱利用ヒートポンプシステムの特徴と課題ー。
- サンポット株式会社（2007）サンポット地中熱ヒートポンプシステム，青森県地中熱利用推進ビジョン策定委員会様ご視察資料。
- 村岡洋文（2007）日本の地熱エネルギー開発の停滞を払拭する新しい風，RE2007地熱カンファレンス講演資料。
- 環境省（2007）<http://www.env.go.jp/doc/toukei/contents/data/es190720.xls>。
- 本藤祐樹・内山洋司・森泉由恵（2000）ライフサイクルCO₂排出量による発電技術の評価ー最新データによる再推計と前提条件の違いによる影響ー，電中研報告，Y99099，105p。
- 本藤祐樹（2001）ライフサイクルCO₂排出量による原子力発電技術の評価，電中研報告，Y01006，39p。
- 特定非営利活動法人地中熱利用促進協会（2007）
<http://www.geohpaj.org/introduction/types.htm>
- 大岡龍三（2006）講座「地中熱利用ヒートポンプシステム」建物基礎杭を利用した地中熱空調システム，日本地熱学会誌，28，431-439。
- 秋林智・石井学・石上孝・花田征吉・前田秀樹・三浦司（2007）秋田市立山王中学校の建物基礎杭を用いた地中熱利用冷暖房システム，日本地熱学会誌，29，151-162。
- 日経トレンディ（2003）ヒートアイランドが生む新ビジネス，7月号，113-116。
- 石上孝・大島和夫・渡部敦史・柳沼政行・阿部敏郎・大林誠善（2007）地中熱源融雪ヒートポンプユニットの開発と運転実績，第41回空気調和・冷凍連合会講演論文集，p.57-60。
- 大里和己（2005）カーナサイクルの地熱発電への適用条件について，地熱技術，30，53-61。
- 新妻弘明（2003）*Energy In My Yard*: 自然エネルギー利用拡大の戦略，自然エネルギーフォーラム。
- 総合資源エネルギー調査会新エネルギー部会RPS法小委員会（2007）RPS法小委員会報告書，p.1-18。
- NEF（2007）地熱エネルギー開発と利用（地熱発電・直接利用）パンフレット。
- 山本荘毅（1989）新版地下水調査法，古今書院，359。
- 金原啓司・阪口圭一（1989）日本の主要地熱地域の地質と温泉・変質帯分布，地調報告，270，482p。
- 高橋正明・駒澤正夫・玉生志郎（2001）50万分の1青森地熱資源図説明書。特殊地質図(31-5)，地質調査所，126p。
- 石上孝・渡部敦史・鈴木良知・石黒幸治・関義則・加藤宏之・大島和夫（2007）弘前市における地中熱利用冷暖房・融雪システムー長期運転実績値からの地中熱源評価ー，クリーンエネルギー，Vol.16，No.5，p.57-61。
- 渡邊智雄・葛西久四郎（2006）地中熱利用ヒートポンプシステムを利用したハウス農業，東北農業研究，59，p.197-198。
- 盛田耕二・田子真・馬渡慎吾（2003）大地の熱的機能を利用する融雪設備設計のための数値シミュレーションによる検討，日本地熱学会誌，25，139-153。

図表類一覧

- 図 1-1 青森県のエネルギー賦存量およびエネルギー需要量
- 図 1-2 「青森県エネルギー産業振興戦略」(2006年11月)の概要
- 図 2-1 国内の地中熱利用ヒートポンプシステム設置件数の推移
- 図 2-2 NPO法人地中熱利用促進協会加盟者利用形態別施工実績
- 図 2-3 温泉泉源の個数推移(環境省、2007)
- 図 2-4 温泉の総湧出量推移(環境省、2007)
- 図 2-5 電源別CO₂排出量
- 図 2-6 発電電力量推移
- 図 2-7 発電電力量割合(2004)
- 図 2-8 八丁原発所構内のバイナリー発電設備
- 図 2-9 地中熱利用ヒートポンプの種類
- 図 2-10 秋田市立山王中学校における基礎杭への熱交換器設置状況
- 図 2-11 地中熱交換井掘削機(ソニックドリル)
- 図 2-12 青森県農林総合研究センターにおけるハウス農業への適用例
- 図 2-13 国産Uチューブ
- 図 2-14 地中熱源ヒートポンプユニット(冷暖房兼用タイプ)
- 図 2-15 地中熱源ヒートポンプユニット(融雪専用タイプ)
- 図 2-16 設計・性能予測ツール「Ground Club」の計算画面
- 図 2-17 水文環境図 CD-ROM
- 図 2-18 北海道大学による地中熱ヒートポンプシステム参考書
- 図 2-19 飛騨川温泉しみずの湯の例
- 図 2-20 付知峡倉屋温泉おんぼいの湯の例
- 図 2-21 バイナリー発電システム図
- 図 2-22 霧島国際ホテル実証試験設備
- 図 2-23 カリーナサイクル発電システム図
- 図 2-24 環境省クールシティ推進事業パンフレット
- 図 2-25 地中熱に関する NEDO 技術開発機構補助件数推移
- 図 2-26 *ETMY* 概念図
- 図 2-27 国による調査支援(地熱開発促進調査)
- 図 2-28 地熱開発促進調査位置(C-2: 中小地熱地域)
- 図 3-1 青森県基本データ
- 図 3-2 全国と青森県の最終エネルギー消費構造(分野別)
- 図 3-3 全国と青森県の最終エネルギー消費構造
- 図 3-4 降雪深比較
- 図 3-5 地域別新エネルギーの賦存量
- 図 3-6 新エネルギー種別毎賦存量
- 図 3-7 深度 100m における地下水温度(山本、1989)
- 図 3-8 地中温度と外気温比較
- 図 3-9 青森県の既存地熱調査位置図
- 図 3-10 ガイア融雪システム概念図
- 図 3-11 冬季バリアフリー計画路線図
- 図 3-12 弘前大学敷地内における融雪状況
- 図 3-13 まちなか情報センター
- 図 3-14 ランニングコスト・エネルギー諸費量・CO₂発生量比較
- 図 3-15 地中熱利用システムによるハウス栽培状況
- 図 3-16 日本の地熱発電所(財団法人新エネルギー財団、2007)
- 図 4-1 戸建住宅での冷暖房システム概念図
- 図 4-2 戸建住宅におけるトータルコスト比較(補助金なし)
- 図 4-3 公共施設での冷暖房システム概念図
- 図 4-4 公共施設におけるトータルコスト比較(補助金なし)

| | |
|--------|----------------------------|
| 図 4-5 | 融雪システム概念図 |
| 図 4-6 | 融雪システムにおけるトータルコスト比較（補助金なし） |
| 図 4-7 | ハウス農業への地中熱利用暖房システム概念図 |
| 図 4-8 | ハウス農業への地下水熱利用暖房システム概念図 |
| 図 4-9 | 温泉熱利用モデル概念図 |
| 図 4-10 | バイナリー発電の事業モデル |
| 図 4-11 | 下湯地域位置図 |

| | |
|--------|--|
| 表 1-1 | 本ビジョンにおける地熱エネルギーの定義 |
| 表 2-1 | 国内の地中熱利用状況（NEF、2003） |
| 表 2-2 | 我が国の地熱発電所 |
| 表 2-3 | 国による主な助成制度 |
| 表 3-1 | 青森・弘前・八戸の気象特性 |
| 表 3-2 | 都道府県別温泉地数、源泉総数、湧出量（環境省、2005） |
| 表 3-3 | 青森県内の総源泉数 |
| 表 3-4 | 青森県における既往地熱調査一覧表 |
| 表 3-5 | 全国と青森県の最終エネルギー消費構造（分野別） |
| 表 3-6 | 全国と青森県の最終エネルギー消費構造 |
| 表 3-7 | ガイアエネルギー研究会の施工実績 |
| 表 4-1 | 戸建住宅での概算設計条件 |
| 表 4-2 | 戸建住宅におけるコストおよび CO ₂ 発生量比較 |
| 表 4-3 | 公共施設での概算設計条件 |
| 表 4-4 | 公共施設におけるコストおよび CO ₂ 発生量比較 |
| 表 4-5 | 融雪システムにおける概算設計条件 |
| 表 4-6 | 融雪システムにおけるコストおよび CO ₂ 発生量比較 |
| 表 4-7 | ハウス農業における概算設計条件 |
| 表 4-8 | 野菜の品種別生育適温・光適応性など |
| 表 4-9 | ハウス農業への地中熱利用暖房システムのランニングコストおよび CO ₂ 発生量試算 |
| 表 4-10 | ハウス農業への地中熱利用暖房システムのイニシャルコストおよび単純償却年数試算 |
| 表 4-11 | 既設設備を有効利用した概算設計条件 |
| 表 4-12 | ハウス農業への地下水熱利用暖房システムのイニシャルコスト |
| 表 4-13 | ハウス農業への地下水熱利用暖房システムのランニングコスト |
| 表 4-14 | 青森県における中高温熱水開発有望地域 |
| 表 4-15 | 地熱資源賦存地域（高橋ほか、2001） |

地域新エネルギー・省エネルギービジョン策定等事業

青森県地中熱利用推進ビジョン

2008年（平成20年）2月 発行

お問い合わせ先

青森県エネルギー総合対策局エネルギー開発振興課
環境・エネルギー産業振興グループ

〒030 8570 青森県青森市長島一丁目1番1号

TEL：017 722 1111（大代表） 017 734 9378（直通）

FAX：017 734 8213