

釧路湿原におけるハンノキ林の拡大に及ぼす 地下水の影響についての研究

STUDY OF INFLUENCES OF GROUND WATER ON SPREAD
OF THE ALDER SWAMP FOREST AREA IN KUSHIRO MIRE

羽石嵩¹・中津川誠²・工藤俊³

Takashi HANEISHI, Makoto NAKATSUGAWA and Shun KUDO

¹学生会員 室蘭工業大学大学院 工学研究科 (〒050-8585 室蘭市水元町 27-1)

²正会員 博士 (工学) 室蘭工業大学大学院 工学研究科 准教授 (〒050-8585 室蘭市水元町 27-1)

³非会員 室蘭工業大学工学部 建設システム工学科 (〒050-8585 室蘭市水元町 27-1)

This study aims to clarify the causes of the expansion in alder forest in Kushiro Mire by analyzing the relationships among ground height, groundwater level and vegetation. In recent years, Kushiro Mire has been drying as a result of basin development, including river improvement, and the main vegetation has been rapidly shifting from reed communities to alder forest.

Observation data analysis revealed that the area of alder forest is increasing at locations where the groundwater is -0.4 m or more underground. Groundwater simulation by analysis of observation data and unsteady two-dimensional model analysis indicates that groundwater levels are low at rivers and around former water channels. Because the groundwater level changes are large there, the area of alder swamp forest is expected to continue to expand.

Key Words : *Kushiro Mire, alder swamp forest, ground water, river track, simulation of surface and sub-surface hydrology*

1. はじめに

北海道の東部に位置する釧路湿原は、河川整備や排水路整備などの流域開発により湿地面積が減少し、土砂流入による乾燥化などに起因すると考えられるハンノキ林の拡大によって湿原環境の急激な変化が問題となっている(図-1 参照)。このような湿原の著しい変化は、野生動物の生息環境の悪化、湿原景観の改変、湿原の持つ機能の低下など様々な問題を連鎖的に引き起こす要因となる。ハンノキ林拡大の影響要因として、湿原周辺域での開発による土砂流入による乾燥化や地下水位の変化、湿原への栄養塩流入の増加などが考えられている。したがって、ハンノキ林拡大の原因を科学的に理解し、それに基づいた対策が必要との認識が示されている。¹⁾

釧路湿原の水循環や地下水の挙動については、タンクモデルによって地下水の変動を推算した梅田ら²⁾、Kriging

法により地下水の空間分布を解析した藤間ら³⁾、流域水収支と地下水涵養量を推定した工藤ら⁴⁾の研究事例がある。また、ハンノキ林の生育と地下水の関係については、地下水変動パターンと植生の関係を調べた辻井ら⁵⁾やハンノキ基部の高さと地下水位との関係を調べた矢野ら⁶⁾の研究事例があるが、湿原全体での水循環や地下水の挙動とハンノキ林拡大の因果関係については定量的な解明がなされていない。

本研究では、ハンノキ林の拡大要因として地下水位やその変動、梅田ら⁷⁾によって分類された地形の特徴がハンノキ林拡大にどのような影響をあたえているのか把握することを試みた。この際、これまで蓄積されてきた観測データを使用して植生ごとの地下水位状況を整理した。また、数量化理論Ⅱ類により湿原全域における地下水位、地下水位の変動、地形の特徴といった要因と植生分類との関係を統計的に分析した。さらに、2次元非定常モデル

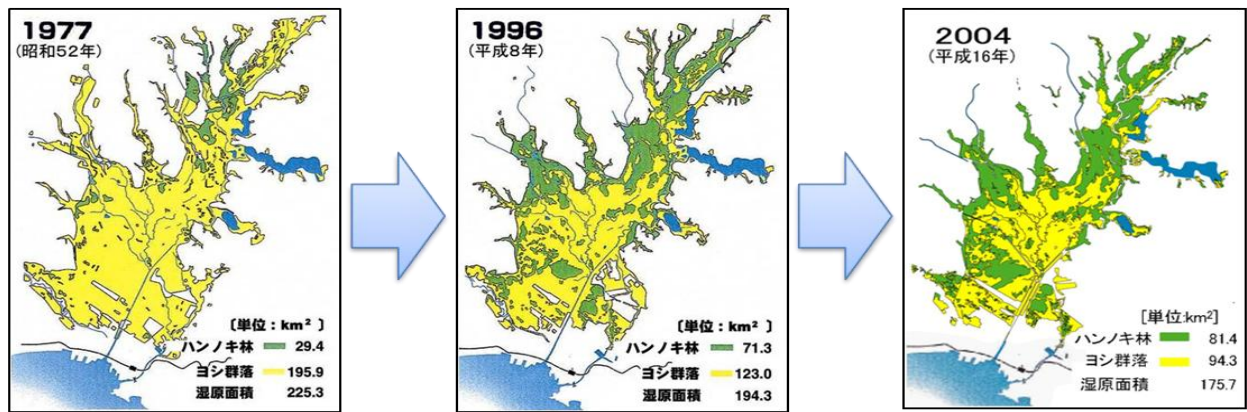


図-1 釧路湿原の植生変化（釧路湿原自然再生協議会 HP、北海道開発局釧路開発建設部提供より）

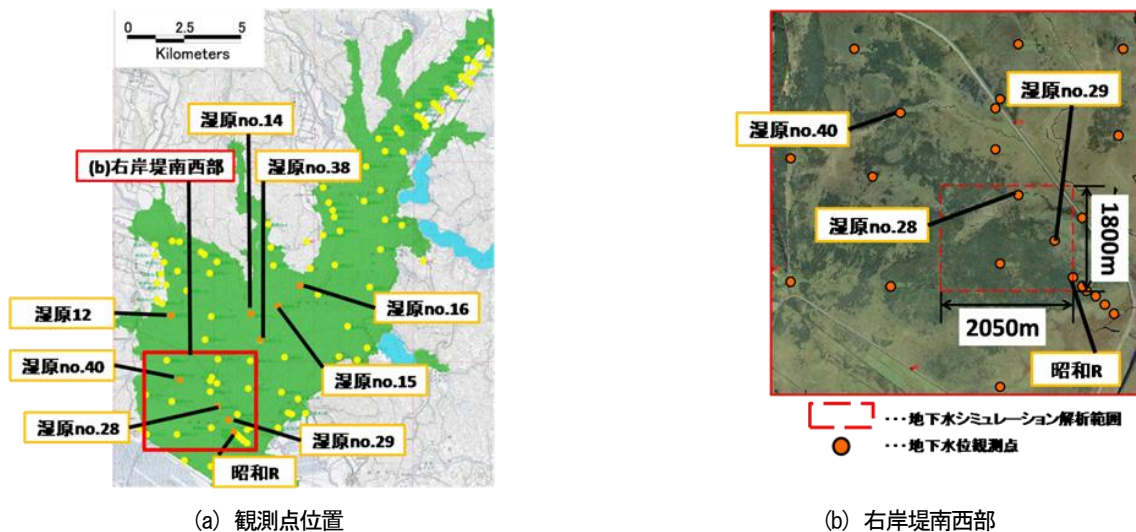


図-2 観測点と解析範囲

に基づく地下水シミュレーションにより、微細な地形変化を反映した地下水環境を推算し、ハンノキ林立地の条件について分析した。

2. 釧路湿原の概要

釧路湿原は北海道東部太平洋側の北緯 43° 09′，東経 144° 26′ を中心に南北に約 36km，東西約 25km の範囲で分布し、湿原面積 18,290ha の日本最大の湿原である。

釧路湿原では、植物約 600 種、哺乳類約 26 種、両生・爬虫類約 9 種、鳥類約 170 種、昆虫類約 1150 種、魚類約 34 種が確認されており、その中には世界的に絶滅の危機にあり、国の天然記念物にも指定されているタンチョウやキタサンショウウオなどをはじめとする希少動物も数多く生息している。これらの希少動物は生息のために適した環境が限られており、釧路湿原はその生息地として非常に重要な位置を占めている。また、湿原には保水・浄化機能、洪水調節機能、地域気候緩和機能など、人間の生活・活動にとっても重要な役割を果たし、地域の人々に様々な恵みをもたらしてきた。このような湿原として

の価値が認められ、1947 年には 5,012ha が国の天然記念物に指定された。1980 年には日本初のラムサール条約登録湿地として指定され、現在の登録湿地区域は 7,863ha となっている。さらに、1987 年には日本で 28 番目の国立公園として指定された。

3. 植生変化の状況

釧路湿原の植生は大きく 2 つに分類することができる。ひとつは日本全国の湖岸・沼沢地・河川の下流域・海岸塩沼地などに生育し、高さ 3m に達することもあるヨシ群落である。もうひとつは日本全国の低湿地帯に分布する落葉広葉樹であり、湿原において高木として成長することのできる数少ない種であるケヤマハンノキ・ヤチハンノキである。

図-1 に示すように、1977 年では釧路湿原の植生状況はヨシ群落が 19,590ha と湿原全体面積の約 87% を占めており、ハンノキ林は湿原上流端部に存在しているにすぎなかった。しかし、1996 年には湿原面積の減少とともにハンノキ林が急速に拡大し、湿原全体の約 35%、2004 年に

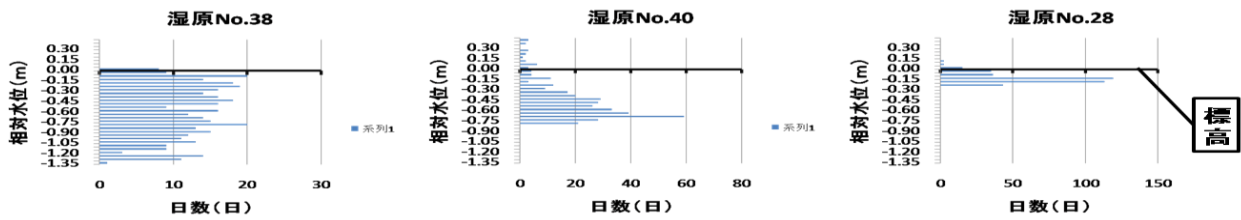


図-3 河川・河川跡周辺地下水観測点における相対水位出現頻度

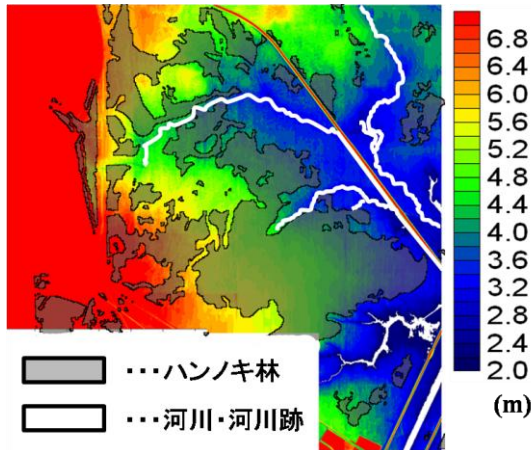


図-4 標高と河川・河川跡、ハンノキ林の位置関係

は約45%を占めるようになってきている。特に湿原上流端部の河川流入部と湿原南西に位置する右岸堤周辺においてハンノキ林の拡大が著しい。

4. 観測データに基づく分析

北海道開発局釧路開発建設部では図-2に示すように湿原内118ヶ所で地下水水位の連続観測を実施している。そこで得られた時間別地下水水位データ(2005.1~2007.12)、2mメッシュ標高データ(空中三角測量データ, 2004年実施)、梅田ら⁷⁾が作成した釧路泥炭地形形成図を用いてハンノキ林との関係を分析した。

(1) 地盤高・河川跡と植生

(a) 地下水観測点毎の特徴

河川・河川跡周辺に存在する地下水観測点を数ヶ所選び、各年の地下水水位の変動状況を調べることでハンノキ林の生育条件を分析した。ここでの「河川跡」は梅田ら⁹⁾が分類した結果を用いた。また、データには日平均地下水水位データを使用している。

図-3には、2006年度365日分の相対水位(地下水位から地盤高を差し引いたもので前者が後者より高い場合正とする)の出現頻度を各観測点で示している。図-3より河川・河川跡周辺では、後述する河川・河川跡周辺以外の地点(図-5参照)と比べ地下水位が地盤高より低く水位の変動が大きい傾向にある。これは河川・河川跡は周囲より標高が低く集水しやすい地形であるため融雪期や大雨による出水の影響を受け、水位変動が大きくなるため

と考えられる。また、その周辺の洪水時にシルトや粘土が流入し自然堤防が形成されるような個所ではハンノキ林が成立するという見解を富士田ら⁸⁾が示している。

(b) ハンノキ林拡大領域の特徴

ハンノキ林の拡大が著しい湿原南西に位置する右岸堤周辺(世界測地系、平面直角座標系13系、X座標4734~11842m、Y座標-106330~99386m)(図-2参照)において標高データに基づきコンター図を作成し、ハンノキ林との関係を分析した。

図-4は右岸堤周辺の標高、河川・河川跡とハンノキ林の位置関係を示しており、右岸堤周辺の標高が低い場所では、ハンノキが自生している個所が少なく、標高が高くなるにつれハンノキ林の自生域が広がっていることがわかる。これは標高の高い場所では相対的に地下水水位が低くなるためと考えられる。また、標高が低い場所には河川・河川跡が数ヶ所存在しており、河川・河川跡を避けるようにして自生していると考えられる。

(2) 地下水位と植生

(a) 地下水観測点毎の特徴

ヨシ群落に存在する地下水観測点とハンノキ林内に存在する地下水観測点をそれぞれ数ヶ所ずつ選び出し、地下水水位の変動状況からヨシ群落とハンノキ林の生育条件の違いを整理した。

図-5には、2006年度365日分の相対水位の出現頻度を各観測点で示している。この結果、ハンノキ林が生育している地点では地下水水位が地表面付近、あるいは地表面より低い地点が多い。また、常時冠水している地点でも相対水位が0.10~0.30mの出現頻度が最も高く、0.4m以上の冠水はほとんど見られない。一方、ヨシ群落が生育している地点では常時冠水している地点がほとんどであった。また、ハンノキ林が生育している地点とは異なり、相対水位が0.4m以上の発生頻度が高い地点も存在しており、ハンノキは相対水位が0.4m以上となる地点では自生が困難となる可能性が高い。矢野ら⁵⁾はハンノキが周辺の地盤高より0.1m~0.3mほど高い基部の上に育成しているが、基部下端からの平均地下水水位が高くなるほど、ハンノキの育成が抑制されるとの見解を示しており、今回の結果はそれを裏付けている。

以上よりハンノキ林が自生している地点は、相対水位が地表より概ね0.4m以下となっている個所であることが

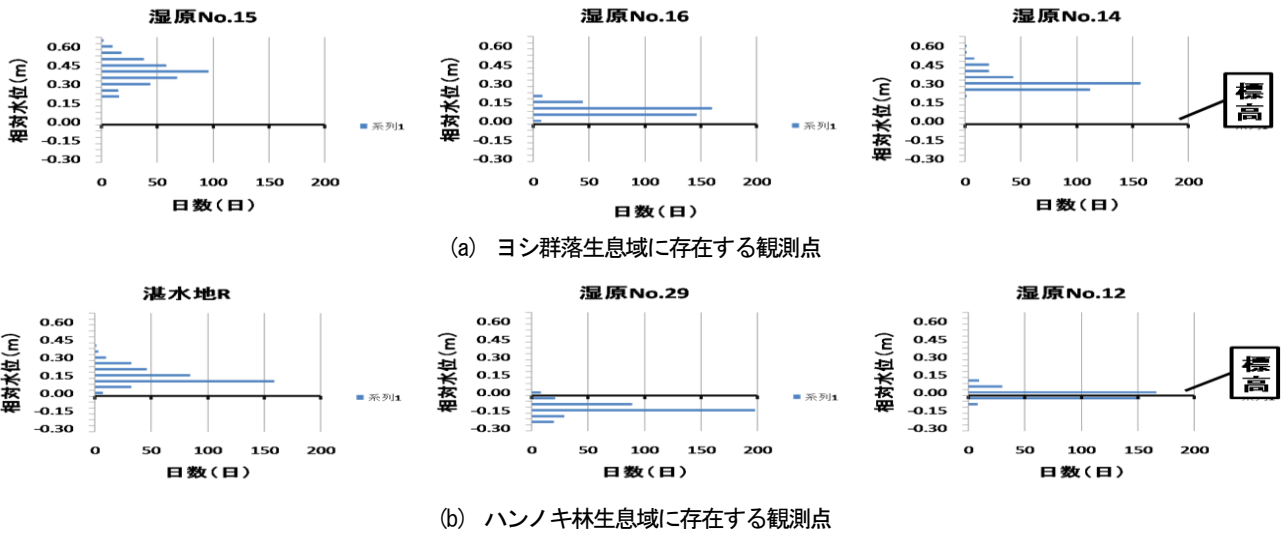


図-5 河川・河川跡周辺以外の地下水位観測点における相対水位出現頻度

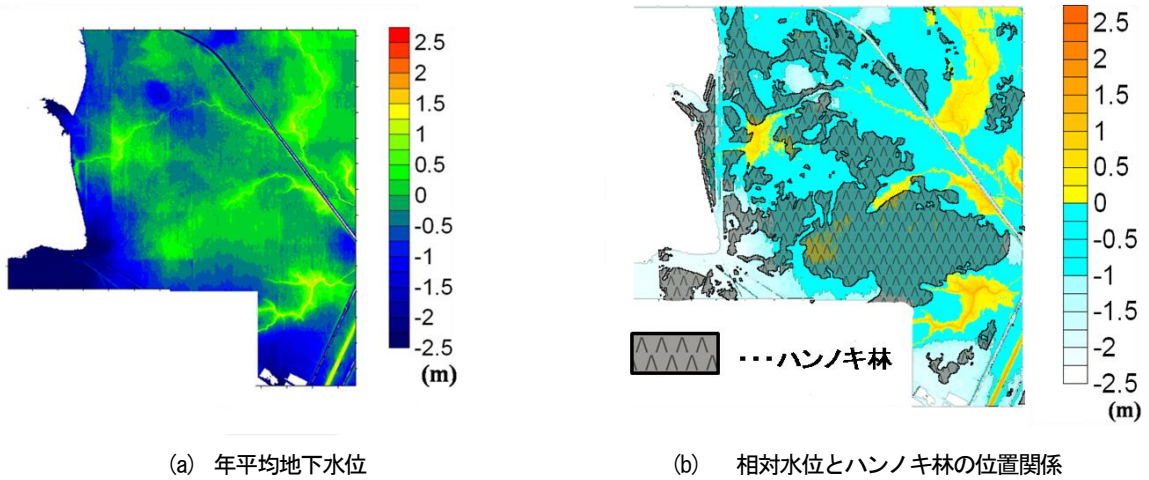


図-6 相対水位コンター図 (2006年)

わかった。このことから地下水位が地表より0.4m以上となると基部下端が冠水することで生育が抑制されることが推察される。

(b) 領域全体の俯瞰的特徴

前節と同様に、右岸堤周辺全体を対象に地下水位とハンノキ林との関係を空間的に俯瞰する。ここで地下水位データは各年の平均地下水位を Kriging 法によって2mメッシュデータに補間したものを使用した。

図-6では相対水位とハンノキ林の分布状況を比較している。結果より、右岸堤南西部においてハンノキ生育域の大部分は相対水位が0~-1mの領域内にあり、地下水位が地表面以下となることでハンノキ林が拡大しうるといえる。すなわち、地下水位が地表面以下となっているがヨシ群落が生息している場所でも今後ハンノキ林に変化していく可能性があるといえる。

(3) 統計的分析

前出(1), (2)節によって右岸堤周辺の抽出地点でハンノキ拡大条件を示した。この条件が湿原全域でも適用できるか、統計的分析をおこなって確認した。

(a) 分析手法

湿原全域を対象としたデータの欠測がない72ヶ所の地下水位観測点において、植生分類を外的基準、地形分類、平均相対水位ランク、地下水位変動(分散)ランクをアイテムとし、数量化理論Ⅱ類による関係分析をおこなった。数量化理論Ⅱ類とは、質的な要因(地形分類、地下水位ランクなど)によって、質的な外的基準(植生分類)を予測あるいは判別するための方法である。ここでは平均相対水位、地下水位変動ともに、2005年~2007年日平均地下水位データを使用し、羽石ら⁹⁾によっておこなわれた関係分析を参考にランク分けした。また、梅田ら⁵⁾は、河川流路・開水面の残る河川跡(ow)・自然堤防の残る河川跡(ap)・特徴がわずかに確認できる河川跡(dp)で地形を分類している。各分類と分析結果は表-1に示す。

(b) 分析結果

数量化理論Ⅱ類による分析の結果、外的基準のカテゴリスコアはヨシ群落(-0.95)<ハンノキ林(0.44)となったため、カテゴリスコアが大きい分類ほど、ハンノキ生育に寄与していると解釈される。また、表-1に示すようにこの分析の植生分類の正判別率が88.3%と高く、妥当性の

表-1 数量化理論Ⅱ類における分類と分析結果

	分類	カテゴリスコア
地形	1. なし	-0.66
	2. 河川流路・開水面の残存する河川跡(ow)	0.31
	3. 自然堤防の残存する河川跡(ap)	1.37
	4. わずかに残存する河川跡(dp)	-0.94
相対水位	1. 0.25~0.5m	-1.34
	2. 0~0.25m	-0.64
	3. -0.25~0m	0.00
	4. -0.5~-0.25m	-0.83
	5. -0.5m以下	1.52
分散	1. 0~0.025	-0.12
	2. 0.025~0.05	0.76
	3. 0.05~0.075	-0.66
	4. 0.075以上	-0.19

偏相関係数		判別された群	
地形	0.57	実際の群	ヨシ群落
相対水位	0.58	ヨシ群落	78.30%
分散	0.32	ハンノキ	21.70%
		ハンノキ	14.30%
			85.70%
正判別率=83.33%			

ある結果が得られたといえる。

各要因の偏相関係数は地形が0.57、相対水位が0.58、地下水位分散が0.32となっており、地形と相対水位が植生の分類に及ぼす影響が同程度であるという結果が得られた。また、この2つに比べ地下水位変動は偏相関係数が小さく植生に及ぼす影響が小さいという結果となった。表-1に示されているカテゴリスコアより、河川流路・河川跡ow、河川跡apといった自然堤防が存在する河川跡の周辺においてハンノキが生育しやすい環境であるという結果が得られた。また、相対水位が、0.25m以上となる場所でヨシ群落が生育しやすく、-0.5m以下となるような場所でハンノキが生育しやすいという結果が得られた。

以上の結果、湿原全域を対象として分析した結果においても河川・河川跡周辺や、相対水位が低い個所でハンノキ林が拡大するという前節の見解を支持する結果が得られたといえる。

5. 有限要素法による地下水計算

前章において河川・河川跡周辺や相対水位とハンノキ林の関係を示した。しかしながら、湿原内には複雑な微地形が存在しているため、それを考慮した地下水位の変動を把握する必要がある。そこで2001~2003年を解析対象期間として流域の複雑な微地形を考慮した25m×25mの半分の三角形メッシュを解析メッシュとした地下水シミュレーションをおこなった。地下水シミュレーションは、湿原内の地下水を不圧地下水として扱い、次式に示す2次元非定常モデルを適用しておこなう。

$$\frac{\partial}{\partial x} \left(T \frac{\partial h}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(T \frac{\partial h}{\partial y} \right) + q_0 = S \frac{\partial h}{\partial t} \quad (1)$$

ここで、 h は地下水位(m)、 T は帯水層の透水量係数(m^2/s)で透水係数 k (m/s)に帯水層厚さ(m)を乗じたもの、 S は貯留係数、 q_0 は涵養量または揚水量(m/s)である。なお、計算の時間ステップは1day (86,400sec)とした。

解析対象範囲は、図-2内の赤枠で示している右岸堤南

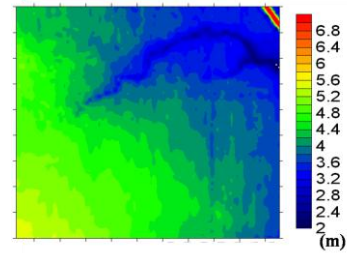


図-7 解析対象範囲2mメッシュ標高コンター図

西部約2km四方の領域(世界測地系、直角座標系13系、X座標8828.0~10878.0m, Y座標-103826.0~-102026.0m)とし、2001~2003年を解析対象期間として月単位で地下水シミュレーションをおこなう。また、解析メッシュは、流域の複雑な微地形を考慮し地下水変動をより詳細に把握するため、25m×25mの半分の三角形メッシュとした。解析対象範囲を6,059個の節点と11,808個のメッシュ(要素)に分割し、基本パラメータの設定をおこなった。

(1) 計算手順

まず工藤ら⁴⁾がおこなった釧路湿原全域を対象とした250mメッシュ地下水シミュレーションを行う。次に、計算結果から右岸堤南西部の領域を取り出し定水頭境界として25mメッシュデータに加え(ネスティング)、地下水シミュレーションをおこない、細かい地形の変化による地下水の変動を分析する。

(2) 境界条件・基本パラメータの設定

境界条件は計算領域周囲に250mメッシュ地下水シミュレーションの計算結果を定水頭条件として設定した。地下水シミュレーションに与える基本パラメータの内、標高については2mメッシュ標高データを使用し25mメッシュ標高データを作成した。解析対象範囲の標高コンター図を図-7に示す。その他の帯水層基底標高・貯留係数・初期地下水位・透水係数・有効雨量のパラメータの設定は、工藤ら⁴⁾の研究で使用した250mメッシュデータをKriging法で補間し、25mメッシュデータを作成した。

(3) 地下水位シミュレーションによる解析結果

設定した基本パラメータをもとに実施した地下水シミュレーションの結果を図-8および図-9に示す。

図-8は2001年月別平均地下水位の空間分布(3月, 6月, 9月, 12月)を示している。また、図-9には解析によって得られた相対水位とハンノキ林生育域の位置関係を重ね図で比較する。相対水位は計算結果とともに比較のため観測データをKriging法によって補間した結果を示す。計算からも水位が地表面以下となる領域でハンノキ林が生育するという結果が得られ、高解像度の地盤高データによって微小な地形変化に対する地下水条件が考慮できた。なお、図中の地点Aと地点Bでの実測データ

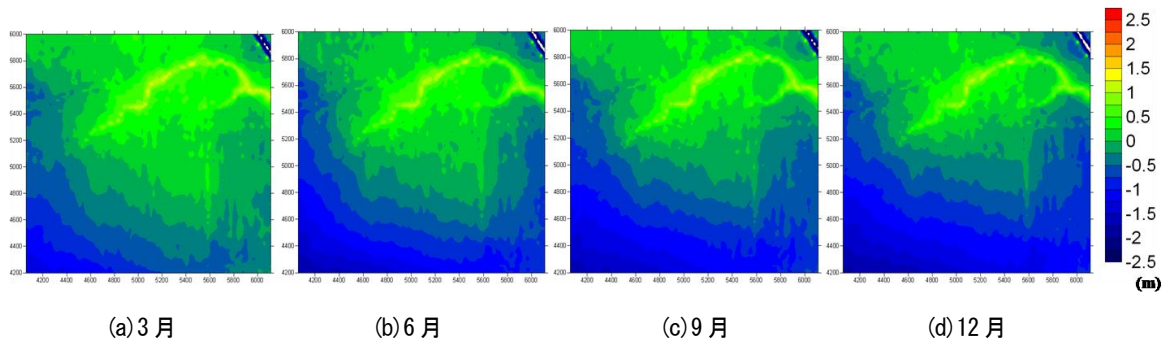


図-8 地下水シミュレーションによる月別平均地下水位

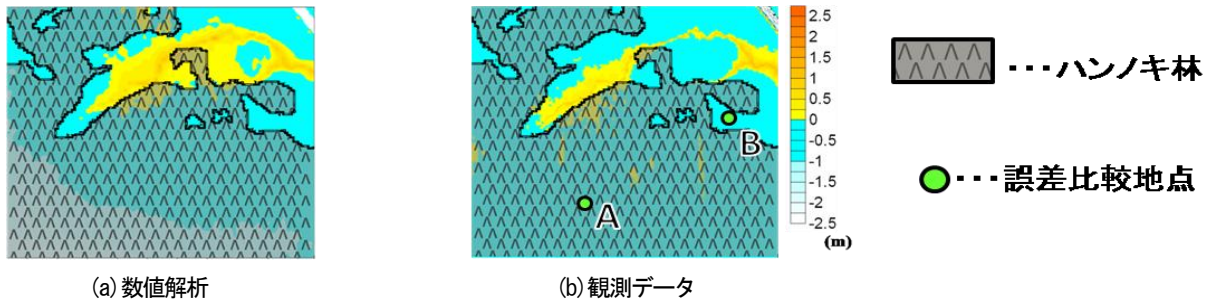


図-9 数値解析と観測データによる平均地下水位分布と誤差 (2001年)

と数値解析の比較をすると地点Bのような河川・河川跡周辺での水位差は最大0.3mと小さいが、地点Aのような解析対象範囲縁辺部では水位差が1m以上となっていた。精度向上のためには、今後境界条件の設定方法やパラメータの再検討が必要である。

6. まとめ

本研究で得られた知見を下記に示す。

- 1) ヨシ群落の生育域は地下水位が高く、常時冠水している場所が多い。
- 2) ハンノキ林の生育域では、地下水位が地表面付近、あるいは地表面より低い。また、常時冠水している場所でも生育することが可能だが、地下水位が地表面より0.4m以上になるなど基部上端が冠水する場合、ハンノキ林の拡大は抑制傾向にある。
- 3) 自然堤防が存在する河川・河川跡周辺では、洪水の影響を受けるため地下水位変動が大きく、相対的に地下水位が低いためハンノキ林が拡大傾向にある。
- 4) 高解像度の地形データを使用した地下水シミュレーションによって細かい地形変化を考慮した地下水位の変化が表現できるようになった。

以上より、ハンノキ林の拡大を抑制するためにはなるべく地下水位を上昇させ、地下水位変動量を小さくような条件を創出する必要があると推察される。今後、地下水シミュレーションの精度向上を図るとともに地下水と植生のインパクト・レスポンス関係をさらに検証して、ハンノキ林抑制の具体策提案につなげていきたい。

謝辞：本研究を遂行するにあたり釧路湿原関連データを提供して頂いた国土交通省北海道開発局釧路開発建設部治水課の関係各位に対し、ここに記して深謝いたします。

参考文献

- 1) 釧路湿原自然再生協議会ホームページ,
http://www.ks.hkd.mlit.go.jp/kasen/kushiro_wetland/index.html.
- 2) 梅田安治, 辻井達一, 井上京, 清水雅男, 今野康夫: サロベツ泥炭地の地下水位とササ泥炭地の形態研究(III), 北海道農学部邦文紀要, 第16巻, 第1号, pp.70-81,1988.
- 3) 藤間聡, 福土陽子, 和田麻衣子: 釧路湿原の地下水分布の推定, 土木学会北海道支部論文報告集,60,pp316-317,2003.
- 4) 工藤啓介, 中津川誠: 北海道開発土木研究所月報, No.626, pp25-47,2005.
- 5) 辻井達一, 梅田安治, 桜田純司, 清水雅男: 泥炭地の植生と地下水位,釧路湿原自然生態基礎調査,北海道大学農学部,pp.36-105,1974.
- 6) 矢野雅昭, 村上泰啓, 加藤道生: 釧路湿原における久著呂川下流の湿原植生の変遷について, 第52回北海道開発技術研究発表会, 環 30, 2009.2.
- 7) 梅田安治, 清水雅男: 釧路泥炭地形成図, 社団法人土地改良設計技術協会.
- 8) 日本樹木誌編集委員会編: 日本樹木誌 1, 日本林業調査会, pp549-575,2009.
- 9) 羽石嵩, 中津川誠: 釧路湿原の植生変化に及ぼす地形及び地下水条件の影響について, 第64回年次学術講演会, II-262, 2009.

(2010. 9. 30 受付)