

## 学位論文題名

## 高位泥炭地における微地形形成の数値解析学的研究

## 学位論文内容の要旨

本研究では高位泥炭地形成モデルであるカレックス・モデル *Carex Model* を開発・構築した。このモデルの考え方は「泥炭は、湿原に生育する植物が枯れ、その遺体が温度や過湿な環境のため分解することなく堆積したものである」という公知の事実または定義に基づいている。湿原に生育する植物の一次生産量の多寡が泥炭の堆積量の多少を決め、その偏在によって地形が形成されるというのがカレックス・モデルのシナリオである。本研究ではこのプロセスをどう具体化し、量的に表現するかという課題に対し一つの可能性を提示した。

まず湿原に生育する植物の一次生産量が何に依存するかという点について、これまでの植物生態学的な多くの研究から、地下水位（地表の水位を含む）が最も重要であるとの結論を得た。この関係が明らかになることで、湿原植物の生長量の問題、泥炭の堆積量の問題、高位泥炭地の地形の変化の問題は、いずれも地下水・地表水の流動という純粋に物理的な問題に置き換えることができ、コンピュータ・シミュレーションに最も適した課題とすることができる。

このモデルの核心となるのが、地表または地下水位と植物一次生産量との関係であるが、これをどう見積もるかという点が次の課題である。これも植物生態学的な既往研究に基づいて、両者の関係に対数正規分布形の関数形を取り入れた。湿原植物といえども、一般的には適度な水はけが必要であり、水浸しとなるような過度な湿潤環境では生長が阻害される。多くの植物の過湿環境に対する生育許容範囲は狭く、このようなとき急激に生長阻害を起こす。逆に地下水位が下がりすぎても影響があるが、地下水が低下した場合には土壌中の間隙水だけでも生長を続ける。この点に着目し、地下水位と植物一次生産量の間を片側だけに限界値を持つ対数正規分布の関数形とした。

植物の一次生産量（生長量）を左右する湿原の水は、地下を移動するが地表を流れることもある。地下水と地表水は流動の形態がまったく異なり、流速は桁外れに異なり、それを記述する方程式の形も違う。これらを計算する場合、地下水と地表水を分けて計算した方が効率は格段に良くなるが、植物の一次生産量を見積もるというこの課題では地下水の滲出と地表水の浸透をつぶさに水収支に反映させることが重要なため、敢えて同時進行で計算するという方法を採用した。

このカレックス・モデルのプロトタイプだけでも、湿原に見られる様々な微地形の形態を計算結果として再現できることを示した（II章）。池澁の下手側の岸にできる畔状の膨らみ（北海道雨竜沼湿原、青森県八甲田山湿原）、階段状傾斜面にできる池澁群の分布（長野県苗場山湿原）、山頂湿原でのアカエゾマツの同心円状配列（北海道松山湿原）である。これらを試算する過程で湿原に湛水域ができやすい条件が判明した。基本的には地下水深度が継続的に浅い状態にあるということである。この条件を満たしやすいのは時期的には泥炭層厚の薄い泥炭

地形成初期であり、地域的には積雪による圧密を受けて透水係数や空隙率が小さくなりやすい山岳地域である。ただし平坦な部分は他の境界条件が様々に異なっても地下水深度が浅くなりやすいことから湛水域が形成されやすい。雨竜沼湿原や北海道沼ノ原湿原での最大の池塘は、計算結果と同様にそれぞれの湿原頂部の平坦部に形成されている。

「湿地溝」は湿原の傾斜方向に連続する大きな溝である（Ⅲ章）。これに対して「ケルミ・シュレンケ複合体」は等高線方向に伸びた細長い畔状の膨らみとそれらの間の窪みとの組み合わせである（Ⅳ章）。カレックス・モデルを用いれば、プロトタイプに僅かなアルゴリズムの変更や特定の境界条件を加えることによって、これら方向が90度異なる別タイプの溝の形状を形成させうることを示した。

「湿地溝」は自然に形成されたものであるにもかかわらず実質的には排水路として機能して湿原の環境劣化をもたらしている。湿地溝の形成についてはサロベツ湿原の中に埋没している旧河道を想定した高透水性泥炭塊が地中に存在するという初期条件のもとで、あらゆる規模の湿地溝が形成されうることを確認した。つまりサロベツ湿原の場合、高位泥炭地の内部に埋没した旧河道部分が透水係数の大きな「水みち」として機能し、これを介して地下水の集中が起こり、さらに過剰になった水の湧出によって植物生長量・泥炭堆積量に多寡が生じて湿地溝が形成されたものと考えられる（Ⅲ章）。

「ケルミ・シュレンケ複合体」は高位泥炭地特有の景観を構成する重要な要素である。わずかな凹凸しかない泥炭地表面を水が流れるとき、水流は凸部を避け凹部に集中する。融雪期や大雨の後にこの集中する流れが植物遺体を凹部により多く堆積させる。この繰り返しが傾斜に直交して連続する高まり（ケルミ）形成のきっかけとなる。その後は地表・地下水流動の結果生じる水位が植物の生長を支配することによって、泥炭堆積が選択的に進んでケルミ・シュレンケ複合体の形態が形成される。このきっかけとなる部分をモデルに追加してプログラミングシミュレーションを実施した結果、複合体と同様なパターンを形成することを確認した（Ⅳ章）。

ケルミ・シュレンケ複合体パターンが形成されやすいのは、傾斜の急なところよりは緩やかなところ、透水層厚が厚いところよりは薄いところ、初期の凹凸が小さいところよりは大きいところなどである。これらは地下水深度が浅くなりやすく、表面流が発生しやすいところとも言い換えることができる。この知見からさらに類推を進めると、パターンが確立された微地形ではケルミの高さと水面はともに次第に上昇して、それらの周囲には新たな微地形を形成する素地ができる。これはケルミ・シュレンケ複合体の形成が周囲の斜面に伝播していく可能性のあることを示唆しており、これが現実に配列したと見られる雨竜沼湿原の例を示した（Ⅳ章）。

カレックス・モデルを適用して計算を行なうとき、無数の環境条件の組み合わせがあるが、水域ができるケースは相対的に少ない。実際の高位泥炭地でも池塘などの水域の面積は小さく、「何の変哲もない」湿原というのが大半である。しかし「何の変哲もない」ことがどういう条件の反映であるのかを定量的に把握する方法はこれまで無かった。本研究で構築したカレックス・モデルでは、様々な条件の変化がどの部分にどのように反映するかを定量的に把握することができる。この手法によれば、過去から現在まで、あるいは現在から未来にわたっての変化を再現・推定できるばかりでなく、湿原の現状がいかなるバランスのもとに保たれているかを定量的に確認できる。したがってカレックス・モデルを用いれば、これまで手探りで行われていた湿原の保全・保護の活動を定量的な裏付けのもとに実施することができる。

# 学位論文審査の要旨

主査	准教授	井上	京
副査	特任教授	長澤	徹明
副査	教授	波多野	隆介
副査	准教授	富士田	裕子

## 学位論文題名

### 高位泥炭地における微地形形成の数値解析学的研究

本論文は、図 51, 表 1 を含む総頁数 91 頁の和文論文であり、他に参考論文 5 編が添えられている。

貴重な動植物が生息している地域、農耕地と湿原が共存している地域などで、環境の保全や修復を行なっていく上で、その環境がどのようなバランスの上に成り立っているのかを理解することは重要なことである。特に泥炭湿原の場合、その現況地形は植物との長年の相互作用によって形成されてきたものであり、湿原環境の把握は過去から継続する泥炭地の微地形形成という現象の理解抜きには完全なものとはなりえない。

本研究では植物の生態について単純な定量化を行い、泥炭地形成の因果関係を理解しやすい形で提示することを目的として、高位泥炭地形成モデルである「カレックス・モデル(Carex Model)」を提示した。このモデルの考え方は「泥炭は、湿原に生育する植物が枯れ、その遺体が温度や過湿な環境のため分解することなく堆積したものである」という公知の事実に基づいている。湿原に生育する植物の一次生産量の多寡が泥炭の堆積量の多少を決め、その偏在によって地形が形成されるというのがカレックス・モデルのシナリオである。本研究ではこのプロセスをどう具体化し、量的に表現するかという課題に対する一つのモデルが提示された。

まず湿原に生育する植物の一次生産量が何に依存するかという点について、これまでの植物生態学的な多くの研究から、地下水位(地表の水位を含む)が最も重要であるとした。その関係性から湿原植物の生長量と正の相関があると考えられる泥炭の堆積量の問題、高位泥炭地の地形の変化の問題は、いずれも地下水・地表水の流動という純粋に物理的な問題に置き換えることができ、コンピュータ・シミュレーションに最も適した課題とした。

このモデルの核心となるのが、地表または地下水位と植物一次生産量との関係である。植

物生態学的な既往研究に基づけば、湿原植物といえども、一般的には適度な水はげが必要であり、過度な湿潤環境では生長が阻害される。多くの植物の過湿環境に対する生育許容範囲は狭く、このようなとき急激に生長阻害を起こす。逆に地下水位が低下した場合には、生育に影響はあるものの土壌中の間隙水だけでも生長を続ける。この点に着目し、地下水位と植物一次生産量の関係を片側だけに限界値を持つ対数正規分布の関数形とした。

このカレックス・モデルのプロトタイプだけでも、湿原に見られる典型的な地表形態を計算結果として再現できることが示された(Ⅱ章)。再現されたのは池塘の下手側の岸にできる畔状の膨らみ(青森県八甲田山湿原)、階段状傾斜面にできる池塘群の分布(長野県苗場山湿原)、そして山頂湿原でのアカエゾマツの同心円状配列(北海道松山湿原)である。

。「湿地溝」は湿原の傾斜方向に連続する大きな溝である(Ⅲ章)。これに対して「ケルミ・シュレンケ複合体」は等高線方向に伸びた細長い畔状膨らみとそれらの間の窪みとの組み合わせである(Ⅳ章)。カレックス・モデルでは、プロトタイプに僅かなアルゴリズムの変更や特定の境界条件を加えることによって、向きが90度異なるこれら別タイプの溝の形状を形成させることを示した。

まず「湿地溝」について、サロベツ湿原の中に埋没している旧河道を想定した透水性の大きい泥炭塊が地中に存在するという初期条件のもとで、規模の異なる湿地溝が形成されることが確認された。埋没した旧河道部分が透水係数の大きな「水みち」として機能し、これを介して地下水の集中が起こり、さらに過剰になった水の湧出によって植物生長量・泥炭堆積量に多寡が生じて湿地溝が形成されたものと考察した(Ⅲ章)。

一方「ケルミ・シュレンケ複合体」の形成については次のように説明される。わずかな凹凸しかない泥炭地斜面を水が流れるとき、水流は凹部に集中する。融雪期にこの集中する流れが茎や葉など穂先の長い植物遺体を凹部により多く堆積させる。この繰り返しが傾斜に直交して連続する高まり(ケルミ)形成のきっかけとなる。その後は地表・地下水流動の結果生じる水位が植物の生長を支配することによって、泥炭堆積が選択的に進んでケルミ・シュレンケ複合体の形態が形成される。このきっかけとなる部分をモデルに追加した結果、複合体と同様なパターンが形成されることが確認された(Ⅳ章)。

本研究で提示されたカレックス・モデルは、泥炭湿原の過去から現在まで、あるいは現在から将来にわたる変化を再現・推定できるばかりでなく、湿原の現状がいかなるバランスのもとに保たれているかを定量的に確認できる。このモデルを用いることにより、これまで手探りで行われていた湿原の保全・保護の活動を定量的な裏付けのもとに実施することが可能となり、学術的にも高く評価されるものである。よって審査員一同は、岡田 操が博士(農学)の学位を受けるのに十分な資格を有するものと認めた。