

ユビソヤナギの広域的な潜在生育域推定 及び分布変遷に関する考察

指村奈穂子*¹・池田明彦*²・井出雄二*¹

Potential habitat estimation of *Salix hukaoana* in macro scale and changes in distribution in Quaternary Period

Naoko SASHIMURA *¹, Akihiko IKEDA *², and Yuji IDE *¹

はじめに

ユビソヤナギ (*Salix hukaoana*) は日本固有のヤナギ科植物で、生育地が限られることから、レッドデータブックにおいて絶滅危惧 IB 類に指定されている (環境省自然保護局野生生物課, 2000)。これまでに確認されている生育地は、関東から東北の 6 ヶ所、すなわち、群馬県の湯檜曾川 (Kimura, 1974) と奈良沢 (坂・井出, 2005)、福島県の只見川 (鈴木・菊地, 2006)、宮城県の鳴瀬川と軍沢 (竹原・内藤, 1986)、岩手県の和賀川 (竹原, 1995) のみである。これらは脊梁山脈の太平洋側に縦列し、その全てが河川上流域の広い谷底に生育している (鈴木・菊地, 2006) が、このような生育地は河川改修やダム建設によって改変が著しく、本種の保全のためにはその生育地を正確に把握することが急務である。そのためには本種の生育地と立地環境の関係を整理して、潜在生育域を推定し、それに基づく調査により分布の全体像を明らかにする必要がある。また、現在の隔離分布の原因を探るために過去の分布変遷の影響をどのように受けてきたかについても議論する必要がある。そこで、ユビソヤナギの潜在生育域の推定を行った速報を、指村・井出 (2009) に報告した。そこでは背景や解析方法、議論が充分に行われなかったため、ここに改めて詳細に報告する。

これまで植物の生育地推定は、植物の分布情報と、その立地の環境要因との関係から行われてきた。推定に用いられる環境要因としては気候条件および地形・地質条件とがある。前者の例としては、カリフォルニア南西部における灌木 20 種の分布を年平均気温や日射量から推定 (Franklin, 1998) したものや、日本全域のブナの生育地を温量指数や降水量、積雪量から推定 (Matsui *et al.*, 2004) したものがある。また、後者の例としては、北西アメリカのグレートベイسن国立公園における希少種の分布 (Aitken *et al.*, 2007) や、カリフォルニアにおける 3 種のナラ類の分布 (Vayssieres *et al.*, 2000)、屋久島におけるヤクシマサルスベリの分布 (伊藤ら, 2006) を、傾斜など地形要因、及び周辺地質要因から推定したものが挙げられる。こうしたこ

*¹ 東京大学大学院農学生命科学研究科 東京都文京区弥生 1-1-1
Graduate School of Agricultural and Life Sciences, University of Tokyo, Yayoi, Bunkyo-ku, Tokyo, Japan

*² 品川区まちづくり事業部道路公園課 東京都品川区広町 2-1-36
Roads and Park Sec. of City Development Dep., Shinagawa City Office, Hiromachi, Shinagawa-ku, Tokyo, Japan

とから、ユビソヤナギの潜在生育域についてもこのような例を参考にすることが可能と思われる。

ところで、このような環境要因は地史的過程において変化しているため、植物の分布もその変化に追従して変遷してきたことが知られている。そのため、現在は潜在生育域であっても分布が未到達の場合や近い過去に何らかの理由で消失した場合は、分布を欠くこととなる。すなわち、このような過去からの地史的プロセスを正しく理解しない限り、ユビソヤナギの隔離分布を議論することはできない。

現代を含む第四紀は、寒冷期と温暖期が頻繁に繰り返されてきたが（藤井ら，2002）、この気候変動に対応して、植生帯の分布域が寒冷期には低緯度域・低標高域に、温暖期には高緯度域・高標高域に移動してきたことが花粉分析から明らかにされている（塚田，1967; 1981）。現在に直近で最も寒冷な時代であったとされる最終氷期最盛期（約 20,000 年前）には、東北日本にブナは分布しておらず、その後の温暖化とともに北進してきたことが花粉分析（塚田，1982）や遺伝解析（Tomaru, 1997）、生育適地推定（Matsui *et al.*, 2004）から明らかにされている。また、現在に直近の最温暖期とされる縄文海進期（＝ヒブシサーマル期；約 6,000 年前）には、オオシラビソの分布が高標高域に上昇したため、生育下限高度が山頂高度を超えた山では、その分布が消失したとされ、現在これらの山は温度的に分布可能域であってもオオシラビソを欠き、草地やダケカンバの優占する偽高山帯となっている（梶，1982; 杉田，1990）。このようなことを踏まえ、ユビソヤナギについても、最終氷期最盛期と縄文海進期の気候条件における潜在生育域の推定を試み、現在の隔離分布を形成するに至った経緯を議論することが保全上有用である。

そこで本研究では、ユビソヤナギの既知の生育地について環境要因に対する分布を整理し、潜在生育域を推定し地図化した。次に、その地図をもとに新たな生育地の探索を行った。さらに、最終氷期最盛期と縄文海進期の気候条件における潜在生育域の推定を行い、隔離分布形成プロセスを議論した。最後に、本研究で明らかにした事柄に基づき、希少種ユビソヤナギの保全のために必要な河川管理方法について提言した。

なお、本研究は、指村の博士論文「ユビソヤナギ (*Salix hukaoana*) の生育環境と分布特性に関する研究」の一部であり、その概要は「林木の育種」（指村・井出，2009）に報告した。

ユビソヤナギ潜在生育域推定の方針

推定に用いる環境要因を決定するにあたって、まずユビソヤナギの生育地を概観すると、いずれも脊梁山脈沿いの多雪な冷温帯域にあるため、本種の生育には積雪と温度が影響している可能性が高い。また、ユビソヤナギは川沿いに生育が限られる先駆樹種であり、更新には洪水攪乱による裸地の形成が必須であるが（指村・井出，2008）、ヤナギ科植物の更新に必要な洪水攪乱は、広い谷底の氾濫原で起きることが知られている（Shin and Nakamura, 2005）。さらに、ヤナギ科植物の種の分布は、生育地の堆積物の粒度によって決まっており（石川，1983; 新山，1995）、河川の堆積物の粒度は、主に河床勾配に影響を受け、堆積物の供給源である集水域の地質によっても異なる（池田，1970）。これらを踏まえて、ユビソヤナギの潜在生育域推定には、雨量指数、積雪深、谷底地形、河床勾配、集水域地質の5つの環境要因を用いる必要があると考えた。

推定の手法としては、一般化線形モデル（Austin and Gaywood, 1994; Huntley *et al.*, 1995; Guisan *et al.*, 1999）、ロジスティック回帰（Sætersdal and Birks, 1997; Zimmermann and Kienast, 1999; Lenihan, 1993）、分類二進木法（八木橋ら，2003; Matsui *et al.*, 2004）などが先行研究において用いられているが、ユビソヤナギのように極端に生育地が少ない種の場合、このような統

計手法を使って精度の良いモデルを得ることは困難である。また、生育地の中でも特に適地を抽出するようなこれらの手法は、分布の端が切り捨てられるため、ユビソヤナギのように生育地が数ヶ所しかない種の保全目的に利用することは不相当であると考えた。そこで本研究では、生育が可能な場所をすべて選び出すことが不可欠と考え、生育地の持つ環境要因の範囲すべてを潜在生育域ととらえることとした。

また、潜在生育域として絞り込んだ河川区間のうち、距離の短い区間の生育地については、第四紀の気候変動に伴う生育地の上下流両方向への移動により環境要因の閾値を超えてしまい、分布が消失した可能性が高い。既知の生育地がもつ区間長は、貯水ダムによって途絶えているものを除けば最低4km程度であるため、これを参考に4km以上連続した区間のみを潜在生育域としてとらえることとした。

調査及び解析方法

河川メッシュの抽出とその環境要因の算出

標準地域メッシュシステム（行政管理庁告示第143号）の第1次地域区画で、中部地方から東北地方にあたる5238から6241にかけての範囲を対象とした。使用したデータは、地形データとして国土地理院刊行の数値地図50mメッシュ（標高）日本II（DEM）を、気候データとして国土数値情報の気候値メッシュを、地質データとして数値地質図（産業技術総合研究所地質調査総合センター、2003）を用いた。以降の解析にはArcGIS 9 + Spatial Analyst（ESRI社、California）を使用した。それぞれのデータはできるだけ詳細な解析を行うため、DEMの補完の限界である30mメッシュでラスター化した。その際DEMについては、Inverse Distance Weighted（メッシュの周辺にあるサンプルデータポイントの値の平均によってメッシュ値を評価する方法）によって補完した。ユビソヤナギの生育地は河川沿いに限られるため、対象範囲のうち流路を含む谷底のメッシュを選び出した。以降このメッシュを「河川メッシュ」と呼ぶ。河川メッシュは、対象範囲の各メッシュについて、その集水域に含まれるメッシュ数を、DEMのメッシュごとの標高差から集計し、100メッシュ以上（90000m²）の集水域をもつメッシュを、谷底に相接するひと並びのメッシュとして選び出した。なお、100メッシュ以上としたのは、現在明らかになっているユビソヤナギの生育する区間が十分に含まれる河川規模であるためである。つぎに、その河川メッシュのうちから、ユビソヤナギの生育が確認されている、岩手県和賀川（竹原、1995）、宮城県軍沢（竹原・内藤、1986）、宮城県鳴瀬川（竹原・内藤、1986）、福島県伊南川（鈴木・菊地、2006）、群馬県奈良沢（坂・井出、2005）、群馬県湯檜曾川（Kimura, 1974）の地点を選び出した。これを「生育地メッシュ」と呼ぶ。

解析に用いた5つの環境要因の値は以下のように求めた。

温度指数は、国土数値情報の気候値メッシュを用いて月平均気温のうち5℃を超えた月から5℃を減じたものを年間で積算して算出した。

積雪深は、国土数値情報の気候値メッシュ、寒候期最深積雪深を用いた。寒候期最深積雪深は12月から3月までの間で観測された最も深い積雪である。

谷底の地形は、ArcGISの拡張機能Topographic Position Index v. 1.2（Weiss, 2000）によって算出されるTPI値により表現した。TPI値は、DEMを用いて中心となるメッシュと周囲のメッシュの平均値を比較して算出され、平坦は0、凸地形はプラスの値、凹地形はマイナスの値となる。ここでは河川メッシュひとつについて、その隣接するメッシュを含む3×3メッシュ（90m

× 90m) で計算した。

河床勾配については、DEM を用いて河川メッシュについて連続するメッシュ標高差から傾斜角を求め、微細な凹凸の影響を緩和するために 1km 区間ごとの移動平均を算出した。

集水域地質は、数値地質図を用いてユビソヤナギが生育する 6ヶ所の集水域に占める各地質の割合を検討し、上位で優占した地質について、その割合を河川メッシュすべてについて算出した。

ユビソヤナギの分布制限要因の決定

ユビソヤナギの生育地と環境要因の関係を検討するため、それぞれの生育地メッシュと河川メッシュがもつ各環境要因の値を比較した。

まず、5つの環境要因それぞれについて、6ヶ所すべての生育地メッシュを含んだ環境要因の最大値、最小値を求めた。

次にある生育地において、注目する環境要因における生育地メッシュの最大値（または最小値）がその生育地の上流端（または下流端）の値と一致した場合、その値をユビソヤナギの生育の上流（または下流）への分布を制限している閾値とした。

6ヶ所いずれの生育地においても、しかし、最大あるいは最小の閾値が決められない要因については、ユビソヤナギの分布制限要因となっていないものと判断した。

ユビソヤナギの潜在生育域の推定

5つの環境要因それぞれについて閾値内に含まれる河川メッシュを抽出し、それらをオーバーレイしてすべての要因について閾値内の値をとる河川メッシュを絞り込んだ。このようにして抽出した河川メッシュのうち相連続したメッシュを区間としてとらえ、さらに区間長 4km 以上の区間だけに絞り込み、これをユビソヤナギの潜在生育域とした。

新産地の探索

潜在生育域のうちユビソヤナギの生育の有無が明らかになっていない区間について、現地踏査により新産地の探索を行った。なお、抽出された潜在生育域の中には狭い谷底の区間が含まれたが、この原因は 2万5千分の1地形図において川沿いに崖が連続する区間が DEM に反映されていないためであったことから、これらの崖区間は対象から除いた。

最終氷期最盛期における潜在生育域の推定

最終氷期最盛期(約 20,000 年前)におけるユビソヤナギの潜在生育域は以下のように推定した。最終氷期最盛期の気温は、盆地埋積物の花粉分析から、年平均で 6～7℃ 現在よりも低かった(大森・柳町, 1988; 佐々木ら, 2006)。また、海水準が低下して対馬海峡が現在よりも狭くなり(中川ら, 2002)、日本海に暖流がほとんど流れ込まなかったため、この時期の積雪量は現在よりも約 5～7 割少なかったと推定されている(小野, 1982; 佐々木ら, 2006)。そのため、温量指数については、調査対象全メッシュの現在の年平均気温と温量指数について二次関数による近似式を作成し、現在の年平均気温から 7℃ (大森・柳町, 1988; 佐々木ら, 2006) を差し引いた値を式に代入して全メッシュにおける当時の温量指数を推定した。積雪深は現在の積雪深の 5 割とした。なお、TPI、河床勾配については、海水準が変化したため現在とは異なっていた可能性があ

るが、推定に用いることのできる確かな数値的根拠がないため便宜的に現在と同条件とした。地質については現在と大きく異ならないと考えられるため、現在と同条件とした。そして、当時の環境要因を再現した地図上で、ユビソヤナギ生育地から推定した閾値内に含まれるメッシュを最終氷期最盛期におけるユビソヤナギの潜在生育域として推定した。

縄文海進期における潜在生育域の推定

縄文海進期（約 6,000 年前）におけるユビソヤナギの潜在生育域は以下のように推定した。縄文海進期の気温は年平均で 1～2.5℃ 現在よりも高かったとされ（大森・柳町，1988；安田，1990），気温の上昇とともに海水準も上昇して日本海への暖流の流入量も増加したために最終氷期よりも降雪・積雪量が増加し，積雪深は現在と同程度であったとされる（小野，1982）。そのため，温量指数は現在の年平均気温に 2.5℃（大森・柳町，1988；安田，1990）を加えた値を前述の近似式に代入して全メッシュにおける当時の温量指数を推定した。積雪深，TPI，河床勾配，地質の条件は現在と同条件とした。そして，当時の環境要因を再現した地図上で，現在のユビソヤナギ生育地から推定した閾値内に含まれるメッシュを縄文海進期におけるユビソヤナギの潜在生育域として推定した。

過去の潜在生育域については，河川地形等も変化した可能性もあり，確実な潜在生育域を推定できたとは限らないため抽出された潜在生育域から 4km 以上のものを選び，それに直径 10km のバッファを発生させておおよその位置を示した。

結 果

ユビソヤナギの潜在生育域の推定

抽出された河川メッシュにおける環境要因の値と，ユビソヤナギの生育地メッシュのそれぞれの環境要因に対する値の集計を図-1 に示す。

温量指数について生育地メッシュがとる値は，最大値が 85.5（湯檜曾川），最小値が 60.1（和賀川）で，全て冷温帯域に含まれた。河川メッシュのもつ値は，最大の 119.1 から最小の 27.6 までであり，80 付近にピークをもつ一山型の分布であった。

積雪深について生育地メッシュがとる値は，最小値が 80cm（湯檜曾川），最大値が 262cm（伊南川）であった。河川メッシュのもつ値は，積雪深 0cm の数が過半数を占め，積雪深が大きくなるほどメッシュが少なくなるという L 字型分布を示した。

TPI 値について生育地メッシュのとる値は，最小値 -3（鳴瀬川），最大値 0（伊南川）であった。河川メッシュのもつ値は，プラスの値はほとんどなく，0 が過半数を占め，小さくなるに従い指数関数的に少なくなる逆 L 字型分布となった。

河床勾配について生育地メッシュのとる値は，最小値 0.1%（伊南川），最大値 6.3%（軍沢）であった。河川メッシュのもつ値は，河床勾配は，0～0.1% 付近が過半数を占め，急勾配地になるに従い少なくなる分布をしていた。

集水域に占める地質の割合について，生育地メッシュのとる値を検討したところ，花崗岩系と第三紀層が優占していた（表-1）。生育地メッシュにおける花崗岩系と第三紀層の合計割合は，最小値 61.7%（鳴瀬川），最大値 100%（湯檜曾川，奈良沢，軍沢，和賀川）であった。河川メッシュにおける花崗岩系と第三紀層の合計割合は，0% のメッシュが約 7 割と圧倒的に多く，次いで 100% のメッシュが約 2 割あり，1～99% のメッシュ数は合計で約 1 割と極端に少なかった（図-1）。

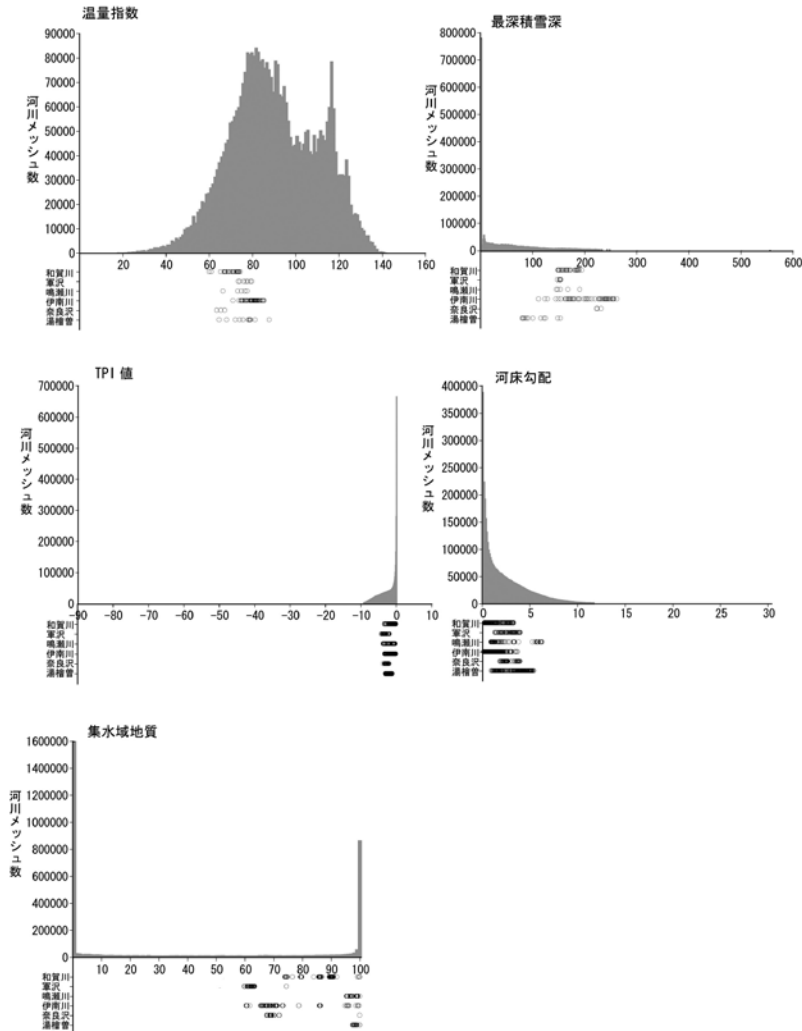


図-1 抽出された河川メッシュにおける環境要因の値と、ユビソヤナギの生育地メッシュのとりそれぞれの環境要因に対する値の集計

対象河川全メッシュの分布を棒グラフで示し、その下に各生育地の分布を散布図で示す。生育地は緯度の高い順に上から、和賀川、軍沢、鳴瀬川、伊南川、奈良沢、湯檜曾川の順。集水域地質は集水域に占める花崗岩類と第三紀層を合わせたものの割合。TPI 値は谷底の地形を示す指数で 0 は平坦、マイナス値は凹地、プラス値は凸地を示す。

Fig. 1. The environmental factor values on river mesh and *Salix hukoana* habitat mesh.

In order of its latitudes from the north, the habits are Waga river, Ikusa river, Naruse river, Ina river, Narusawa river and Yubiso river.

The histogram shows the distribution of river mesh, and the point diagrams show the distribution of each habitat mesh.

The value of geology in a watershed is the ratio of granitic rocks and tertiary deposit to total watershed area.

TPI represents topography of valley floor taking values of 0, negative and positive, meaning flat, concave and convex respectively.

表-1 ユビソヤナギの既知生育地の集水域に占める地質の割合
Table 1. Geological component on catchments in the habitat of *Salix hukaoana*.

地質割合 (%)	和賀川	鳴瀬川	軍沢	伊南川	奈良沢	湯檜曾川
第四紀堆積層	9	0	5	3	0	0
第四紀火山岩類	0	26	0	5	0	0
第三紀層	84	74	71	37	0	11
花崗岩類	7	0	25	24	81	88
中生層	0	0	0	29	19	1
水域	0	0	0	2	0	0

各生育地の最下流のメッシュについて集水域の地質を計算。

次に、各環境要因の最大値・最小値が、各生育地の最上流端および最下流端と一致しているかを地図から検討した結果を述べる。

温量指数については、湯檜曾川において最大値 85.5 が最下流端と一致し、最小値 60.1 が奈良沢、和賀川、湯檜曾川の上流端と一致していた。そのため、温量指数 60.1 ~ 85.5 はユビソヤナギの潜在生育域の閾値として妥当であると判断された。

積雪深については、最小値 80cm が湯檜曾川の下流端と一致したが、最大値 262cm はどの生育地の最上流端とも一致しなかった。積雪深 80cm はユビソヤナギの潜在生育域の下限閾値として妥当であるが、262cm はユビソヤナギの生育可能域よりも低く設定されてしまっている可能性があるため、積雪深には上限を設けないこととした。

TPI 値については、最小値 -3 がすべての生育域の最上流端と一致したが、最大値 0 と最下流端と一致する生育地はなかった。しかし、河川は下流に向かうに従って平野に出て氾濫原は平坦な地形になるため、扇状地より下流ではすべての河川で 0 に収束する。そのため、TPI 値 -3 ~ 0 はユビソヤナギの潜在生育域の閾値として妥当であると判断された。

河床勾配については、最大値 6.3% が軍沢、和賀川、湯檜曾川の上流端と一致し、最小値 0.1% と伊南川、奈良沢の下流端が一致した。そのため、河床勾配 0.1% ~ 6.3% はユビソヤナギの潜在生育域の閾値として妥当であると判断された。

地質割合の最小値 61.7% は、伊南川の下流端と一致したが、最大値 100% が最上流端と一致する生育地はなかった。しかし、集水域の上部を好適な地質が占める場合、最上流部まですべて 100% となるため、地質割合 61.7% ~ 100% はユビソヤナギの潜在生育域の閾値として妥当であると判断された。

以上のことから、検討した各要因の範囲は、温量指数 60.1 ~ 85.5、積雪深 80cm 以上、TPI 値 -3 ~ 0、河床勾配 0.1% ~ 6.3%、集水域に占める花崗岩系と第三紀層の合計地質割合 61.7% ~ 100% とまとめられた。

これらすべての要因について閾値内に含まれるメッシュを潜在生育域として地図化した (図-2)。抽出された潜在生育域は、連続したメッシュを区間として統合したところ 4507 区間が抽出された。これらのうち、4km 以上のものを潜在生育域として絞り込んだところ 248 区間が選択された。これらには、既知の生育地 6 区間のうち 5 区間が含まれた。含まれなかった 1 区間 (奈良沢) は、貯水ダム建設によって生育地が狭められたと推定され (坂・井出, 2004)、本来は潜

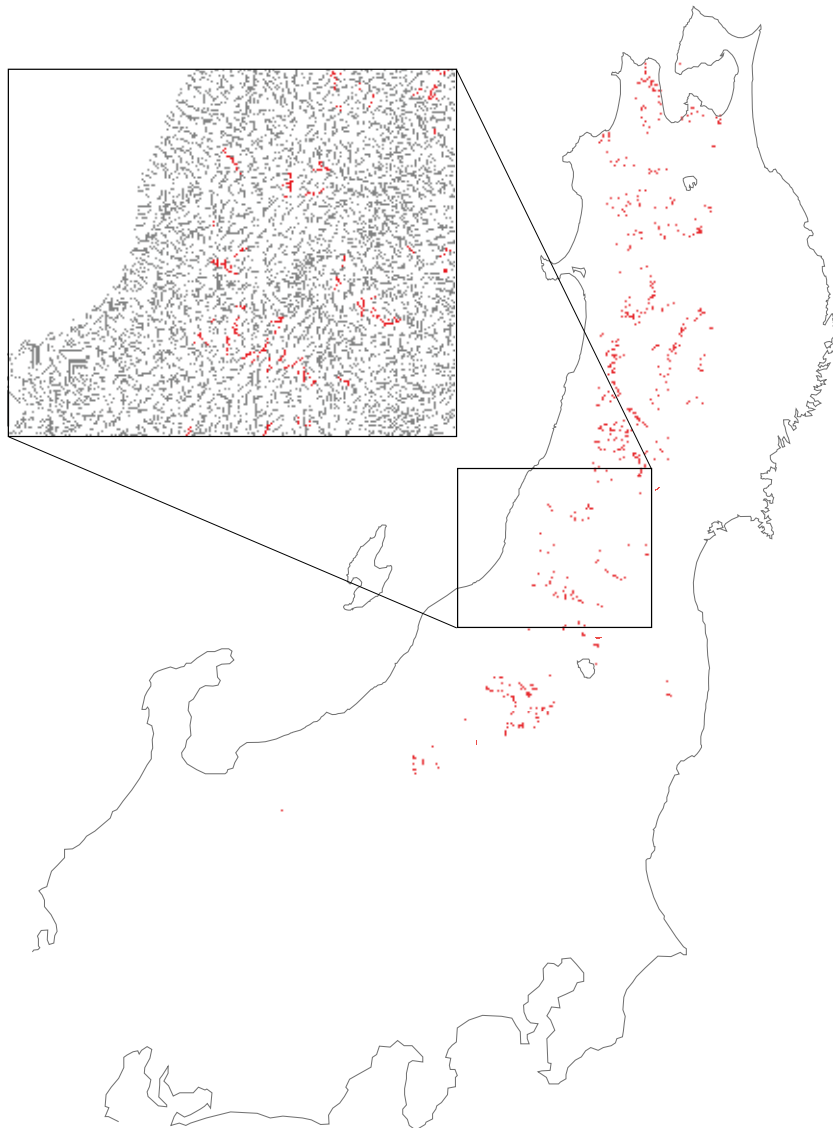


図-2 解析対象メッシュ（一部）とユビソヤナギの潜在生育域

赤は潜在生育域，拡大四角の中の灰色は河川メッシュ

ユビソヤナギの生育する，温量指数 60.1 ~ 85.5，寒候期積雪深 80cm 以上，TPI 値 - 3 ~ 0，河床勾配 0.1% ~ 6.3%，集水域に占める花崗岩系と第三紀層の合計地質割合 61.7% ~ 100%，の範囲を重ね合わせて抽出

Fig. 2. A part of analyzed mesh and *Salix hukaoana* potential habitat mesh.

Red is the potential habitat mesh, and grey is the river mesh in the enlarged area.

Red mesh is estimated with the environmental factors of *S. hukaoana* habitat; WI is between 60.1 and 85.5, winter snow depth is over 80 cm, TPI is between -3 and 0 and the ratio of granitic rocks and tertiary deposit to total watershed area is between 61.7 and 100 %.

在生育域に含まれるものと考えられる。また、残りの 243 区間はユビソヤナギの分布の有無が明らかにされていない区間であった。すなわち、非常に多数の河川メッシュ(3,969,234 メッシュ)から、かなり少数の潜在生育域(96,691 メッシュ=約 2.4%)を絞り込むことができた。

ユビソヤナギの潜在生育域の検証

踏査した 54 区間のうち、7 区間に新たにユビソヤナギの生育が確認された(図-3)。新産地についての生育状況を以下に概説する。

志戸前川(岩手県, N39° E140°): 2005 年 4 月 29 日, 竜川への合流点付近から赤沢出合にかけて約 6km に渡ってユビソヤナギが生育しているのを確認した。直径 25cm 程度のユビソヤナギ個体が優占度 10% 以下の低頻度で出現した。

長瀬川(福島県, N 37° E 140°): 2005 年 5 月 28 日, 秋元湖上流部の大倉川, 小倉川の氾濫原にユビソヤナギの生育を確認した。砂防工事によって攪乱された跡地に直径 5cm から 20cm 程度の若い個体が高密度で生育しており, ユビソヤナギの優占度は 80% から 90% と高かった。

東大鳥川(山形県, N 38° E 139°): 2006 年 3 月 28 日, 荒沢ダム上流, タキタロウ公園付近から上流側にユビソヤナギの生育を確認した。直径 30cm 程度のユビソヤナギが比較的高い優占度で生育していた。その後, 2006 年 9 月に森林総研の調査によって詳細な分布が調査され「タキタロウ館」付近より上流の東大鳥川沿いが分布の中心で, 立矢沢出合付近や東大鳥ダム~左京測ダムより 500m ほど上流に至る範囲ではパッチ状の集団がほとんど切れ間無く出現し, 荒沢ダムの下流, 西大鳥川, 桧原川にもわずかに生育が認められ, 大鳥川での分布範囲は河川沿いに 14km 程度におよぶことが明らかにされた(大橋ら, 2007)。また近くの荒川にもユビソヤナギの分布が確認されている。

北ノ俣川(新潟県, N 37° E 139°): 2006 年 5 月 1 日, 奥只見湖の左岐上流の銀山平付近にユビソヤナギの生育を確認した。直径約 35cm の比較的大きな個体が 80% 程度の高い優占度の林分を形成していたが, 上流は蛇子沢出合付近までの短い区間にしかみられなかった。

只見川(福島県, N 37° E 139°): 2006 年 10 月 7 日, 奥只見湖の右岐上流部にユビソヤナギの生育を確認した。直径約 10cm の若い個体が 80% 程度の高い優占度でみられたが, 砂子平付近の一ヶ所に 1 林分のみだった。奥只見湖が建設される以前は現在ダム湖になっている区間に広大に分布して前述の北ノ俣川とも分布がつながっていた可能性が高いが, 現在は両生育地とも狭い区間にしか分布が残っていない。

加藤谷川(福島県, N 37° E 139°): 2006 年 3 月 29 日, 音金地区中坪と十字を結ぶ橋付近にユビソヤナギの生育を確認した。橋の袂には直径 40cm 程度のユビソヤナギが数本生育していた。正確な分布範囲は確認していないが, 地形から考えて音金の砂防堰堤より小玉沢合流まで分布する可能性がある。

長沢(福島県, N 37° E 139°): 2006 年 5 月 3 日, 阿賀川(大川)合流から上流すぐの砂防堰堤上に 6 個体のユビソヤナギを確認した。胸高直径は約 15cm で周辺には他にユビソヤナギの生育がみられないことから砂防工事による種子運搬の可能性も考えられる。

新たに発見された生育地の環境要因について, 温量指数, 集水域地質, TPI 値は既知の生育地のとる範囲内に収まっていたが, 積雪深と河床勾配の 2 要因で既知の生育地のとる範囲を越えた分布が確認された。積雪深については北ノ俣川で 381cm, 河床勾配については加藤谷川で 6.7% の値だった。

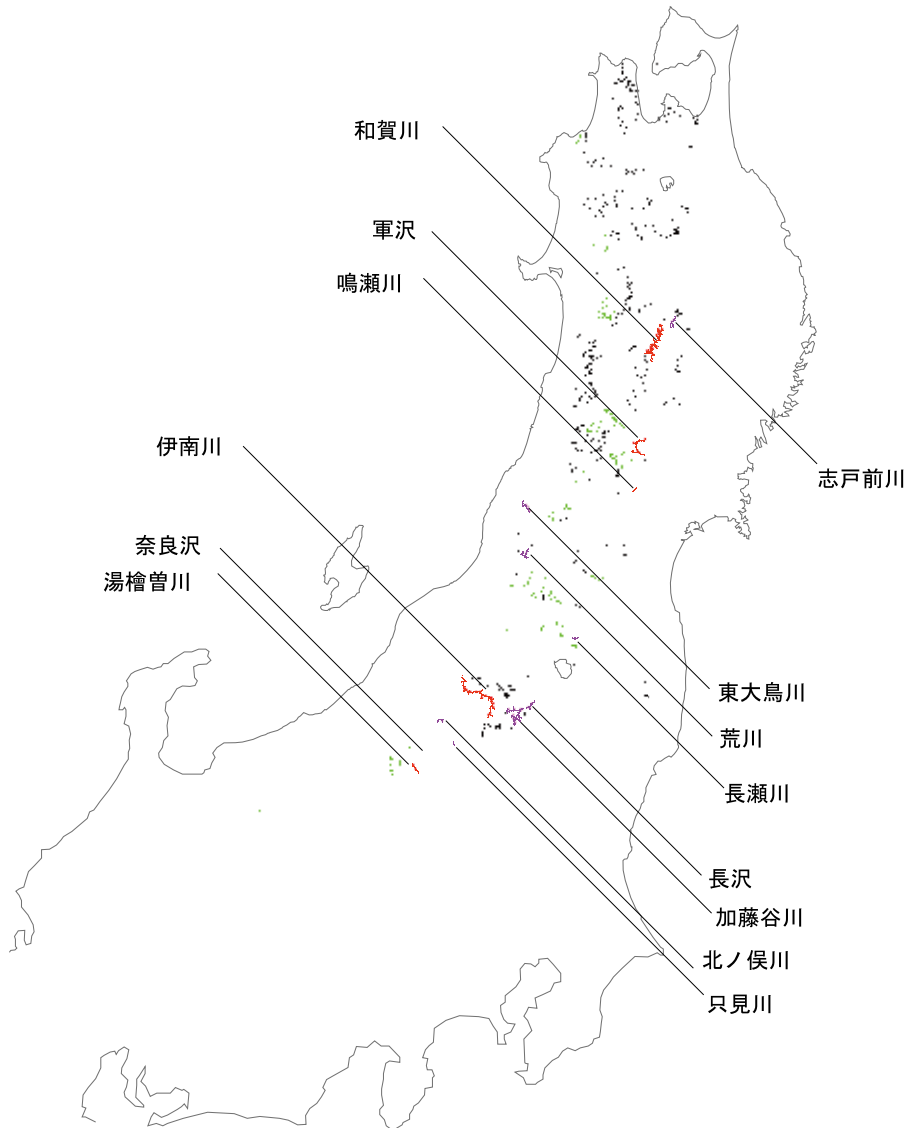


図-3 踏査により明らかになったユビソヤナギの新産地

桃色は新産地，赤は既知の生育地，緑は踏査の結果生育が認められなかったところ，黒は未確認域

Fig. 3. Newfound habitat of *Salix hukaoana* in the field survey.

Pink is the newly found habitat in this study, red is the known habitat.

Green is found not to be habitat, black is not yet surveyed.

既知の生育地に今回発見された新産地を加えるとユビソヤナギの生育地は13ヶ所になり、この13ヶ所のメッシュ数は22,842メッシュになった。河川総メッシュ数に対するユビソヤナギ生育メッシュ数の割合は0.94%であるが、潜在生育域メッシュ数に対する生育地メッシュ数の割合は13.61%となった。

また、潜在生育域として選択されたのにも関わらず、現地踏査の結果分布していないことが確認された区間は47区間あった(図-3)。

過去の気象条件下におけるユビソヤナギ潜在生育域の地図化

調査対象全メッシュの現在の年平均気温と温量指数について、二次関数による近似を行った結果、以下の式が得られた。

$$Y=0.0165x^2+4.1058x+220.156$$

Y: 温量指数

X: 年平均気温

この式を用いて最終氷期最盛期(約20,000年前)と縄文海進期(約6,000年前)におけるユビソヤナギの潜在生育域を推定した結果、図-4の地図が得られた。

最終氷期最盛期(約20,000年前)は気温が現在よりも寒冷であったため、当時のユビソヤナギの潜在生育域は現在より低標高域・低緯度域に抽出された。しかし、同一流域内で低標高域へ生育地が移動し、河床勾配の閾値である0.1%を下回るところは潜在生育域から省かれた。また、当時は積雪量が現在より少なく積雪深は現在の5割程度であったため(小野, 1982)、積雪深80cm以上の多雪地域も縮小しており、これにともなって潜在生育域は現在よりも狭かった。これらを総合してこの時期のユビソヤナギの潜在生育域は、日本海側の扇状地である、頸城丘陵および蟹谷丘陵の2ヶ所に抽出された(図-4)。

縄文海進期(約6,000年前)は現在よりも温暖であったため、当時のユビソヤナギの潜在生育域は現在より高標高・高緯度域に抽出された。このときには最終氷期とは逆に同一河川内では急勾配に生育地が移動し、河床勾配の閾値である6.3%を上回るところは潜在生育域から除かれた。結果として、抽出された潜在生育域は短い区間のものが多く、脊梁山脈沿いの白神山地、八幡平、太平山地、真昼山地、早池峰山、鳥海山、蔵王山、吾妻山、那須山・奥日光、草津白根、妙高山・戸隠山、北アルプス北部に限定された(図-4)。東北の太平洋側にもわずかに潜在生育域が推定されたが、どれも非常に短い区間であった。また、津軽半島、太平山、雄物川、真室川、飯豊山地の北などの潜在生育域は、現在の潜在生育域から離れた位置に抽出されている。

考 察

ユビソヤナギの潜在生育域の評価

本研究によって、ユビソヤナギの潜在生育域は関東から東北にかけての広域の中で248区間に絞り込むことができた(図-2)。この中に、既知の生育地と新たに発見された生育地は奈良沢以外のすべてが含まれている。選好度指数を用いた分類二進木法による生育適地推定の場合、環境要因に対してその種が集中して分布している部分を生育適地として抽出するため大きく絞り込むことが可能であるが、分布の端の生育地は切り捨てられる(Vayssieres *et al.*, 2000; Matsui *et al.*, 2004)。たとえば、Matsui *et al.* (2004)によるブナの生育適地推定では、当てはまりの良いモデルを得て80%以上ブナの生育メッシュが含まれたターミナルノッドを地図化しているが、

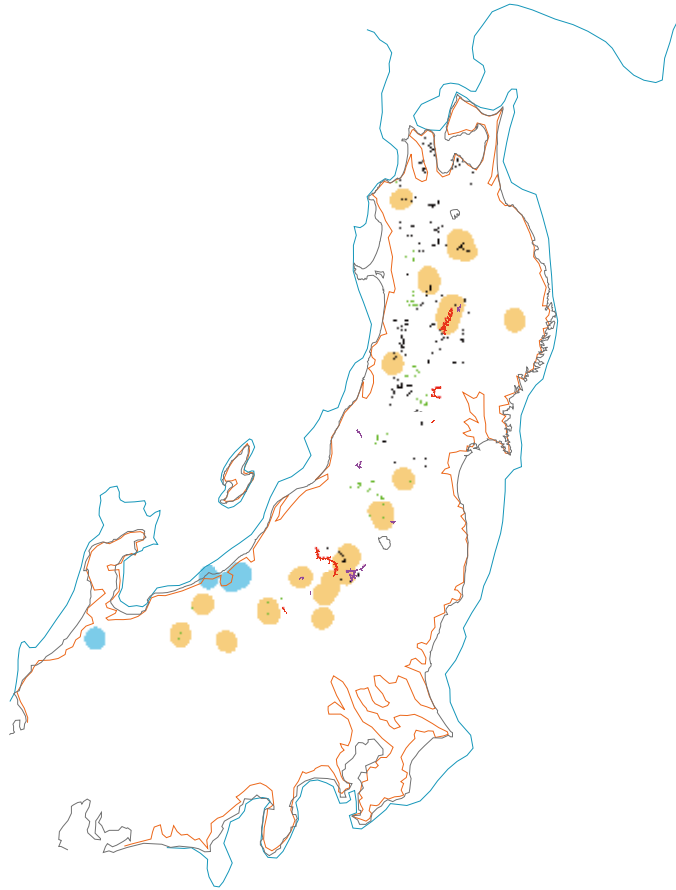


図-4 最終氷期最盛期（約 20,000 年前）と縄文海進期（約 6,000 年前）におけるユビソヤナギの潜在生育域
 水色は最終氷期最寒期，橙は縄文海進期，黒・赤・桃・緑は現在の潜在生育域（図-3 参照）
 最終氷期最寒期は，月平均気温を現在より 5℃ 低く（大森・柳町 1988; 佐々木ら 2006），寒候期積雪深を現在の 5 割として（小野 1982; 原 2006）推定した。縄文海進期は，月平均気温を現在より 2.5℃ 高く（大森・柳町 1988; 安田 1990），寒候期積雪深は現在と同じとして推定し，4km 以上の区間について直径 10km のバッファを発生させた。
 黒線は現在の，水色線は最終氷期最寒期，橙線は縄文海進期の海岸線（安田 1990）。

Fig. 4. The potential habitat of *Salix hukaoana* in the last glacial epoch (20,000 years ago) and the Hypsithermal period (6,000 years ago).

Light blue and orange colors represent the potential habitat in the last glacial epoch and the Hypsithermal period respectively.

Pink, red, green and black are the present potential habitat (see Fig. 3).

The potential habitat in the last glacial epoch is estimated under the condition that average monthly temperatures are 5 °C lower than today (Omori and Yanagimachi 1988, Sasaki *et al.* 2006) and winter snow depth is half of today (Ono 1982, Hara 2006).

The potential habitat in the Hypsithermal period is estimated under the condition that average monthly temperatures are 2.5 °C higher than today (Omori and Yanagimachi 1988, Yasuda 1990) and winter snow depth is equal to that of today.

In areas over 4 km in length, buffer zones with 10 km diameters are considered in the above estimations.

それ以外のターミナルノッドにも1%~44.6%ブナの生育メッシュが含まれている。ブナのように広い範囲で優占する種ではこのような方法でも十分な精度で予測が可能であるが、ユビソヤナギのような分布が非常に限られている希少種にとっては、生育地を漏らさず予測する必要がある。そのような場合は、本研究のように環境要因に対する分布の最小値、最大値を用いた潜在生育域推定の方が適当であると考えられる。これは、河川沿いにのみ生育するというユビソヤナギの種特性に負うところも大きい。適切な環境要因の組み合わせを選ぶことにより潜在生育域を大きく絞り込むことが可能であった。また、それぞれの環境要因の閾値が実際の分布の上下流端を決めていることを確認したことにより、未知のユビソヤナギ生育地が閾値を超えて分布する可能性は低く、今回推定した潜在生育域の中にはほぼ全て含まれると考えられる。さらに、248区間から地形図判読によって崖地を除いたことにより、新産地を高い確率で発見することができた。これまで脊梁山脈の太平洋側だけに分布すると考えられていたユビソヤナギが、環境要因の閾値内であれば日本海側にも分布することが明らかになった（東大鳥川）。また、北端として志戸前川が、南東北の分布空白域として長瀬川が新産地として発見されたため、北緯36°48'から39°40'にかけてほぼ連続的に分布していることも示された（図-3）。

ユビソヤナギの分布特性と生活史特性

生育地の環境要因を集計することによって明らかになったユビソヤナギ潜在生育域の温量指数は、60.1~85.5で、これは冷温帯域とされる55~85（吉良，1948）とほぼ一致していた。温量指数に対するヤナギ科植物の分布は石川（1996）によって整理されており、たとえばドロノキは温量指数55以下に分布する。また、シロヤナギとコゴメヤナギは近縁でありながら温量指数に対するすみわけがあり、阿武隈川を境として以北ではシロヤナギが、以南にはコゴメヤナギが分布している（石川，1982a, 1982b）。ユビソヤナギの分布する温量指数はコゴメヤナギより高いがドロノキより低く、オオバヤナギと同程度であるといえる。

ユビソヤナギ潜在生育域の積雪深は80cm以上であった。対象河川全メッシュの積雪深に対する分布と比較すると、ユビソヤナギの分布は多雪域に分布が偏っていたことから、本種は多雪環境に適応している樹種であることが示唆される。多雪に適応している樹種としてはヒメアオキ、ユキツバキ（河野，2004）、ブナ（八木橋ら，2003）などが知られており、これらの種群は積雪下における蒸散作用の減少および土壌凍結防止が有利に働き、不定根や萌芽性、耐菌性などの生活型を変化させたことで適応してきたと考えられている（前川，1949；高橋，1960）。ユビソヤナギがどのような生活史特性で多雪に適応しているかについては現在のところ不明であり、今後は生理生態学的研究が必要である。

また、ユビソヤナギはTPI値-3以上0までの比較的広い谷底をもつ区間に生育していた。河川攪乱の制限を谷壁斜面から受けない拡幅部では、網状流路が形成されており、様々な頻度と規模の河川攪乱によって多様な立地が生み出されて林分構造の異なるパッチがモザイク状に成立する（進ら，1999；Shin and Nakamura, 2005；指村ら，2008）。このような河川区間はユビソヤナギにとっても更新機会が多いため、個体群を維持することができるものと考えられる。

ユビソヤナギ潜在生育域の河床勾配は0.1%~6.3%までであった。これは地形学的には谷点から下流の個別流動域にあたり（鈴木，1998）、特にユビソヤナギの分布の多い2°から7°（1.1%~4%）は扇状地堆積域にほぼ一致する（鈴木，1998）。ヤナギ科植物は、河川の上流から下流への勾配にしたがって分布する種が異なっており（石川，1982a, 1982b；新山，1987, 1989、

1995), 上流の粗い土性には種子が大きく, 種子散布時期が早く, 直根性の著しい種群が, 下流の細かい土性には種子が小さく, 種子散布時期が遅く, 側根性の著しい種群が分布する (Niiyama, 1990)。ユビソヤナギが生育する扇状地堆積域には, 近縁種のエゾヤナギも分布し (新山, 1995), 両種とも種子散布時期が早く, 大きい種子を持つ (坂・井出, 2004) ことから, 根の形態などについてもこの近縁種間では似た生活史特性を持つ可能性がある。

ユビソヤナギの潜在生育域の集水域地質は, 花崗岩や第三紀層の割合が多い立地であった。一般的に花崗岩類と第三紀層に共通した特徴として, 風化後に生産される土砂に粗砂が多く含まれることがあるが, 中生代の堆積岩や熔岩類は硬く固結しており, ブロック状の大礫が生産され粗砂はほとんどない。また, 第四紀の新しい堆積岩は固結が緩いため, 砂のほかにシルト・粘土のような細粒物が大量に生産されブロックや粗砂は少ない (小貫, 1957; 黒田, 2000)。すなわち, 花崗岩と第三紀層が優占する集水域では粗砂が大量に生産されて扇状地堆積域に堆積し, 混入しているシルトや粘土はより下流へ流失すると考えられる (池田, 1970)。河床堆積物の土性が集水域の地質をどの程度反映しているのかについては詳しく調べる必要があるが, ユビソヤナギの生育地と解析対象河川メッシュとの比較から, ユビソヤナギは粗砂に偏った土性に生育していると推察される。実生定着過程においてもユビソヤナギの方がオノエヤナギよりも粗い土性の立地に出現し, 生残数も大きいなど, ユビソヤナギの粗砂に対する分布の偏りが明らかになっている (指村・井出, 2008)。ユビソヤナギは以上のような生活史特性を持っていることから, 各環境要因に限定された潜在生育域に分布していると考えられる。

ユビソヤナギの過去の分布変遷

最終氷期最盛期 (約 20,000 年前) にはユビソヤナギ潜在生育域は少なくとも, 日本海側の扇状地, 頸城丘陵および蟹谷丘陵の 2ヶ所に押し込められていた可能性が示唆された (図-4)。また, 最終氷期には海水準が 200m 程低下したとされている (藤井ら, 2002) ため, 侵食基準面も低下して現在の平野部も河床勾配が大きかったと判断できることから, 現在海域となっている範囲にも扇状地域が形成された地域があると考えられ, この 2ヶ所以外にも生育可能域があった可能性がある。最終氷期最盛期以降は温暖化が進行し, 13,000 年前頃から多雪地域が拡大していったと考えられているが, これに伴って頸城丘陵および蟹谷丘陵などに避難していたユビソヤナギもそれぞれ周辺に分布を広げていったと考えられる。ユビソヤナギの核遺伝子 GBSSI 領域の配列変異の解析結果によると福島県伊南川で 2 系統が混在することが明らかになっており, このうちの一方は鳴瀬川, 軍沢, 和賀川の系統と同一で, 他方は湯檜曾川に多い系統と同一であった (菊地ら, 2006)。これは氷期にこの 2 地域を含む少数の避難地に分布・隔離されていたユビソヤナギが, 温暖化・多雪化によって分布を広げて伊南川流域に到達したと考ええると, よく合致する。そして, 縄文海進期 (約 6,000 年前) のユビソヤナギ潜在生育域は, 脊梁山脈沿いの狭い地域に限定されていた (図-4)。この時期の潜在生育域は短い区間が多く, そのような区間ではユビソヤナギが分布・個体群維持することは困難であったと考えられる。特に, 東北太平洋側に分布した可能性は低いだろう。縄文海進期以降は温度が低下するため, 生育地は低勾配・低標高へ移動・拡大してきたと考えられる。

氷期と間氷期の気温の変動に対応して, 植物の分布が南北方向または標高の上下方向に移動したことが, プナ (塚田, 1982; Tomaru, 1997), オオシラビソ (梶, 1982; 杉田, 1990), 常緑広葉樹林 (Aoki ら, 2005), イラモミヤカラマツ (白石ら, 1996; 逢沢, 2007) などで, 花粉分

析や遺伝解析から明らかにされている。ユビソヤナギも温量指数 60.1 ~ 85.5 に生育が限られるため、他の多くの種同様に分布が変遷したと推察された。ユビソヤナギの場合には、生育は河川沿いに限られ、また、河床勾配に対しても 0.1% ~ 6.3% に生育可能域が限定されているため、潜在生育域が生育地の移動に伴って縮小されたことが他種との相違点である。また、多雪域に分布する種群は、多雪域の拡大・縮小に伴って生育地も変遷したことが知られている (Suzuki, 1963)。ユビソヤナギもこれらの種と同様であり、積雪の少なかった最終氷期最盛期には生育地が著しく縮小されたことが推察された。

津軽半島、太平山、雄物川、真室川、飯豊山地の北などは、踏査によってもユビソヤナギの生育地を発見できなかった (図-3) が、この地域は、背梁山地に分布が縮小したと考えられる縄文海進期からの時間が短いため、まだ分布が到達していない可能性がある。ヤナギ科植物の種子は冠毛を持った風散布種子で、稀には尾根を越えて隣接する流域まで飛ぶことはあるが (木村, 1951; 1952)、ほとんどは母樹の近くに落ちてしまう。従って、分布を拡大するには相当程度時間がかかると思われる。

また、比較的新しい火山噴火や堆積・侵食による変化が起こっている地域では、以前は存在していた生育地が消失していると考えられる。その例として、新分布地の一つである長瀬川を含む裏磐梯地域では、1888 年の磐梯山の噴火による火山噴出物が堆積した場所 (国土地理院, 2003) には、潜在生育域であってもユビソヤナギが生育していなかった。

このように、ユビソヤナギの分布は、潜在的に生育可能である地域が各環境要因によって限られることに大きく影響されているが、隔離分布を説明するためには、これに加えて第四紀の寒冷・温暖の気温変動に従って分布域が移動していたこと、特に最終氷期、縄文海進期に分布が縮小した後の拡大がまだ十分に進んでいないことを考慮する必要がある。さらに、これらに加えて近年の火山噴火の影響などによる分布の消失などが相まって、現在の隔離分布を形成するに至ったと結論づけられる。

ユビソヤナギ保全のために

ユビソヤナギはこれまで分布地が点在・隔離しているため遺存種のように考えられてきたが、今回明らかになった潜在生育域と、最終氷期以降から現在に至るまでの分布変遷という時間スケールで考察すると、ユビソヤナギは分布拡大中の種であるといえる。しかし、生育地の温度や積雪、土性などが限られ、生育可能域は非常に限定的であるために隔離分布を示すと考えられた。また、今後、温暖化により急速に気温が上昇した場合、潜在生育域は縄文海進期同様に現在より高標高・高緯度域に移動し、同一河川内では急勾配に生育地が移動するため、河床勾配の閾値である 6.3% 付近を上回るところでは、生育不可能となるだろう。結果として、生育地は脊梁山脈沿いに限定されることになるが、温暖化が急速な場合、生育地のシフトに個体群の移動速度が追い付かず消失する区間も多くなると考えられる。

また、ユビソヤナギが生育している河川沿いの水辺域は、過去から現在までの間、適度な攪乱体制の氾濫原となっているため、種の多様な河畔林が継続的に維持されてきたところである (指村ら, 2008)。そのため、ユビソヤナギを保全するためには、現在分布している河川での攪乱体制とこれに伴う勾配、堆積物の土性などの環境を変化させないことが最重要である。ところが、ユビソヤナギにとって適度な攪乱体制を持つ河川は土石流などが度々起きるため、ほとんどの産地で砂防、治山ダムがいくつも築かれている。また、ユビソヤナギは集水域を花崗岩類が広く占

める広い谷底の氾濫原に生育している場合が多いが、このような地域は、花崗岩の貫入によってホルンフェルス化した硬い地質が下流側に存在し、侵食されにくい狭窄部となっているため、その上流部に花崗岩の風化土砂（マサ）が堆積している場合が多い（指村ら，2008）。そして、このような地形は貯水ダムをつくる適地であるため、かつての生育地の大部分が貯水ダムに沈んでしまったと考えられ、これまでに確認された生育地 12 区間のうち半数の 6 区間にダムがあることがこのことを裏付けているといえよう。このように自然状態であっても生育可能域が少ないことに加え、近年の人為攪乱によって消滅した区間も多くあることが推察された。そのため、ダム建設等を最小限にするような対策をとるとともに、未知のユビソヤナギの生育地を早急に発見し、現在分布している河川において保全対策をとることが緊急の課題であると考えられる。

謝 辞

本論文をまとめるにあたって、徳島大学教授 鎌田磨人 博士にご助言をいただいた。GIS 解析について、株式会社地域環境計画の伊勢 紀 氏には詳細な技術指導を賜った。厚くお礼申し上げます。

要 旨

絶滅危惧植物ユビソヤナギの保全方法の検討資料とするため、ユビソヤナギの潜在生育域を推定し、その結果を踏査により検証した。推定は東北地方から中部地方にかけての地域において、気候、地形、地質などの環境要因に基づき GIS を用いておこなった。また、過去の生育域を地史的な気候変動との関係から推定し、現在の分布への影響を考察した。ユビソヤナギの既知生育地は、温量指数 60.1 ~ 85.5、積雪深 80cm 以上、TPI 値 -3 ~ 0、河床勾配 0.1% ~ 6.3%、集水域に占める花崗岩系と第三紀層の合計地質割合 61.7% 以上の範囲内に分布していたため、これらの条件が対象地域内の河川において重なる範囲を潜在生育区間と推定した。その結果 248 区間が選択され、既知生育地のほとんどはこれらの区間に含まれていた。このうち 54 区間を踏査し、新たに 7 区間にユビソヤナギの生育を確認した。このことから、本推定の確からしさが証明された。また、ユビソヤナギの過去の生育可能域は、最終氷期最盛期（約 20,000 年前）には日本海側の丘陵地 2 ヶ所ほどに、縄文海進期（約 6,000 年前）には脊梁山脈沿いの狭い地域に限定されていたと推定された。なお、これらの地域から離れた場所には、先に推定された潜在生育区間であっても現在ユビソヤナギの生育は認められなかった。ユビソヤナギの潜在生育区間は、温度や積雪、地形、地質などの制限により非常に限定的であり、個体群の維持や分布地の拡大は容易ではない。同時に、その地質地形的特徴から、治山・砂防ダム、貯水ダムが作られやすいと考えられた。そのため、未知のユビソヤナギの生育地を早急に発見し、現在分布している河川において適切な保全対策をとることが緊急の課題であると考えられた。

キーワード：ユビソヤナギ、潜在生育域、分布変遷、新産地、広域スケール

引用文献

- Aitken M., Roberts D.W., Shultz L.M. (2007) Modeling distributions of rare plants in the Great Basin, western North America. *Western North American Naturalist* 67: 26-38.
- Austin M. P., Gaywood M. J. (1994) Current Problems of Environmental Gradients and Species Response Curves in Relation to Continuum Theory. *Journal of Vegetation Science*. 5 (4): 473-482.
- 逢沢峰昭 (2007) 日本のトウヒ属樹種の植物地理. *林木の育種* 223:1-6.
- Aoki K., Kato M., Murakami N. (2005) Mitochondrial DNA of Phytophagous Insects as a Molecular Tool for Phylogeographic Study of Host Plants. *Acta phytotaxonomica et geobotanica* 56: 55-69.
- 坂奈穂子, 井出雄二 (2004) 湯檜曾川流域におけるユビソヤナギの生活史特性. *東京大学農学部演習林報告* 112:35-43.
- 坂奈穂子, 井出雄二 (2005) 利根川最上流部にてユビソヤナギを確認. *プラント* 97:47-50.
- Franklin J. (1998) Predicting the distribution of shrub species in southern California from climate and terrain-derived variables. *Journal of Vegetation Science* 9: 733-748.
- 藤井理行, 渡邊興亜, 神山孝吉, 本山秀明, 河野美香 (2002) 南極ドームふじ深層コアに記録された氷期サイクルにおける気候および陸海域環境変動. *雪氷* 64: 341-349.
- Guisan A., Weiss S. B., Weiss A. D. (1999) GLM Versus CCA Spatial Modeling of Plant Species Distribution. *Plant Ecology*.143 (1): 107-122.
- 原正利 (2006) 東日本太平洋側におけるブナ分布とその下限を規定する要因について. *植生学会誌* 23:1-12.
- Huntley B., Berry P. M., Cramer W., McDonald A.P. (1995) Modelling Present and Potential Future Ranges of Some European Higher Plants Using Climate Response Surfaces.22 (6): 967-1001.
- 池田宏 (1970) 三重県, 朝明川・三滝川・内部川の河床縦断形について. *地理学評論* 43: 148-159.
- 石川慎吾 (1982a) 東北地方の河辺に発達するヤナギ林について. *高知大学学術研究報告* 31: 95-104.
- 石川慎吾 (1982b) 東北地方のヤナギ類. *植物と自然* 16: 23-24.
- Ishikawa S. (1983) Ecological studies on the floodplain vegetation in the Tohoku and Hokkaido districts, Japan. *Ecological Review* 20: 73-114.
- 石川慎吾 (1996) 河川植物の特性. *河川環境と水辺植物 - 植生の保全と管理*. ソフトサイエンス社, 東京, p28.
- 伊藤哲, 光田靖, 魏敦祥, 高木正博, 野上寛五郎 (2006) 数値地形情報を用いた希少溪畔樹種ヤクシマサルスベリの潜在的ハビタットの広域推定. *植生学会誌* 23: 153-161.
- 梶幹男 (1982) 亜高山性針葉樹の生態地理学的研究 - オオシラビソの分布パターンと温暖期気候の影響. *東京大学演習林報告* 72: 31-120.
- 環境省自然保護局野生生物課 (2000) ユビソヤナギ. 改訂・日本の絶滅のおそれのある野生生物: レッドデータブック / 植物 1 (維管束植物). 財団法人自然環境研究センター, 東京, pp 272.
- 河野昭一 (2004a) ユキツバキ. *植物生活史図鑑 II: 春の植物 2*. 北海道大学図書刊行会, 札幌, pp 33.
- 河野昭一 (2004b) ヒメアオキ. *植物生活史図鑑 II: 春の植物 2*. 北海道大学図書刊行会, 札幌, pp 41.
- 菊地賢, 鈴木和次郎, 金指あや子, 吉丸博志 (2006) 絶滅危惧種ユビソヤナギの系統的由来. *日本森林学会大会発表データベース* 117: 633.
- 木村有香 (1951) 本州に於けるケショウヤナギの新産地. *生態学研究* 13: 35-36.
- 木村有香 (1952) 再び本州に於けるケショウヤナギの新産地に就いて. *生態学研究* 13:73-74.
- Kimura A. (1974) De *Salicis Hukaoanae* Kimura systematico positu. *The Journal of Japanese botany*. 48:321-326.
- 吉良竜夫 (1948) 温量指数による垂直的な気候帯のわかちかたについて日本の高冷地の合理的利用のために. *寒地農学* 2:143-173.
- 国土地理院 (2003) 火山土地条件図「磐梯山」3万分1.
- 黒田和男 (2000) 地すべりのための地質区分. *深田研ライブラリー* 34:41.
- Lenihan J.M. (1993) Ecological Response Surfaces for North American Boreal Tree Species and Their Use in Forest Classification. *Journal of Vegetation Science*.4 (5) : 667-680.
- 前川文夫 (1949) 日本植物区系の基礎としてのマキネシア. *植物研究雑誌* 24: 91-96.

- Matsui T., Yagihashi T., Nakaya T., Tanaka N., Taoda H. (2004) Climatic controls on distribution of *Fagus crenata* forests in Japan. *Journal of Vegetation Science* 15: 57-66.
- 中川毅, タラソフ, 西田詩, 安田喜憲 (2002) 日本海沿岸, 北陸地方における最終氷期: 更新世変動に伴う気温と季節性の変動と復元 (人類進化と新生代後期の環境変化特集号). *地学雑誌* 111: 900-911.
- 新山馨 (1987) 石狩川に沿ったヤナギ科植物の分布と生育地の土壌の土性. *日本生態学会誌* 37: 163-174.
- 新山馨 (1989) 札内川に沿ったケシヨウヤナギの分布と生育地の土性. *日本生態学会誌* 39: 173-182.
- 新山馨 (1995) ヤナギ科植物の生活史特性と河川環境 (特集) 河川・渓流域の森林動態. *日本生態学会誌* 45:301-306.
- Niiyama K. (1990) The role of seed dispersal and seedling traits in colonization and coexistence of *Salix* species in a seasonally flood habitat. *Ecological Research* 5: 317-331.
- 小野有五 (1982) 氷河地形による最終氷期の降雪量の復元と海水準変動 (最終氷期以降の海水準変動とそれをめぐる諸問題 (特集)). *第四紀研究* 21: 229-243.
- 小貫義男 (1957) 土地地質. 森北出版: 42-69.
- 大橋広好, 菊池賢, 指村奈穂子, 藤原睦夫 (2007) ユビソヤナギの分布. *植物研究雑誌* 82, (4): 242-244.
- 大森博雄, 柳町治 (1988) ブナ林帯上限および下限の温度領域と更新世末期から更新世中期にかけての夏気温変化. *第四紀研究* 27: 81-100.
- 佐々木俊法, 須貝俊彦, 柳田誠 (2006) 東濃地方内陸小盆地埋積物の分析による過去 30 万年間の古気候変動. *第四紀研究* 45: 275-286.
- 産業技術総合研究所地質調査総合センター編集 (2003) 100 万分の 1 日本地質図第 3 版 CD-ROM 第 2 版. 数値地質図 G-1. 産業技術総合研究所地質調査総合センター.
- 指村奈穂子, 井出雄二 (2009) ユビソヤナギ (*Salix hukaoana*) の生育環境と分布特性. *林木の育種* 230:17-24.
- 指村奈穂子, 鈴木和次郎, 井出雄二 (2008) 湯檜曾川における水辺林のモザイク構造とユビソヤナギ林の成立. *日本森林学会誌* 90:17-25.
- 指村奈穂子, 井出雄二 (2008) 湯檜曾川における 3 種のヤナギ科樹種の実生定着過程. *東京大学演習林報* 118:45-64.
- Sætersdal M., Birks H. J. B. (1997) A comparative ecological study of Norwegian mountain plants in relation to possible future climatic change. *Journal of Biogeography*. 24 (2):127-152.
- Shin N., Nakamura F. (2005) Effects of fluvial geomorphology on riparian tree species in Rekifune River, northern Japan. *Plant Ecology* 178:15-28.
- 進望, 石川愼吾, 岩田修二 (1999) 上高地・梓川における河畔林のモザイク構造とその形成過程. *日本生態学会誌* 49:71-81.
- 白石進, 磯田圭哉, 渡辺敦史, 河崎久男 (1996) 蔵王山系馬ノ神岳に生存するカラマツの DNA 分類学的解析. *日本林学会誌* 78:75-182.
- 杉田久志 (1990) 後氷期のオオシラビソ林の発達史 - 分布特性にもとづいて. *植生史研究* 6:31-37.
- 鈴木隆介 (1998) 河川. 建設技術者のための地形図読図入門第 2 巻低地. 古今書院 2.
- Suzuki T. (1963) 日本における花粉学の成果とその植物社会学的考察. *日本生態学会誌* 13:73-79.
- 鈴木和次郎, 菊池賢 (2006) 只見川水系における絶滅危惧種ユビソヤナギの分布と河畔林の組成・構造. *保全生態学研究* 11:85-93.
- 高橋啓二 (1960) 植物分布と積雪. *森林立地* 2:19-24.
- 竹原明秀 (1995) 和賀川上流域のヤナギ林およびユビソヤナギの分布. *自然誌研究年報* 1:11-21.
- 竹原明秀, 内藤俊彦 (1986) 宮城県内のユビソヤナギ. *植物研究雑誌* 61:127-128.
- Tomaru N. (1997) Genetic diversity in *Fagus crenata* (Japanese beech): influence of the distributional shift during the late-Quaternary. *Heredity* 78:241-251.
- 塚田松雄 (1967) 過去一万二千年間: 日本の植生変遷 I. *植物学雑誌* 80:323-336.
- 塚田松雄 (1981) 過去一万二千年間 - 日本の植生変遷史: II. 新しい花粉帯. *日本生態学会誌* 31:201-215.
- 塚田松雄 (1982) 日本列島における第四紀末のブナ属林の発達. *日本生態学会誌* 32:113-118.
- Vayssières M.P., Plant R. E., Allen-Diaz B. H. (2000) Classification trees: An alternative non-parametric approach for predicting species distributions. *Journal of Vegetation Science* 11:679-694.
- Weiss A. D. (2000) A GIS algorithm for topographic position index. Poster presented at ESRI Users' Conference, San Diego, CA. Available online at aweiss@induscorp.com.

八木橋勉, 松井哲哉, 中谷友樹, 埜田宏, 田中信行 (2003) ブナ林とミズナラ林の分布域の気候条件による分類. 生態学会誌 53: 85-94.

安田喜憲 (1990) 気候と文明の盛衰. 気候と文明の盛衰. 朝倉書店, pp 160.

Zimmermann N. E., Kienast F. (1999) Predictive mapping of Alpine grasslands in Switzerland: Species versus community approach. Journal of Vegetation Science. 10 (4): 469-482.

(2009年10月28日受付)

(2010年1月8日受理)

Summary

Based on five environmental factors, the potential habitat of the endangered species *Salix hukaoana* in the area between Tohoku and Chubu, Japan, was estimated using a geographic information system (GIS). Past *S. hukaoana* habitat was also estimated in relation to historical climate change. The known distribution of *S. hukaoana* encompasses the following range of environments: warmth index 60.1–85.5, snow depth >80 cm, topographic position index (TPI) –3 to 0, and the proportion of granitic rocks and Tertiary layer in the watershed >61.7%. Consequently, 248 potential habitats along rivers were identified from areas where these ranges overlapped. After exploring 54 potential habitats, we discovered seven additional habitats. The distribution of *S. hukaoana* was restricted to two hilly terrain on the Sea of Japan side in the last glacial epoch, and to a narrow area along Ou mountain chain (part of the Chugoku range) in the Hypsithermal period. The strict limitation placed on its habitat by environment parameters inhibits the maintenance and expansion of *S. hukaoana* populations. Since its potential habitat is in areas that favour dam construction, the conservation of this species is threatened. Consequently, it is imperative that we identify unknown habitats and conserve them immediately.

Key word : *Salix hukaoana*, potential habitat, distribution change, new locality, macro scale

