

白頭山 森林限界線の 波動性に 관한 研究

張 楠 基

서울대학교 師範大學 生物教育科

Wave Character of the Timber Line on Paektusan

Chang, Nam-Kee

Dept. of Biology, College of Education, Seoul National University

ABSTRACT

An investigation was performed to elucidate wave character of the timber line on the middle slope of the west side of Paektusan. The *Betula ermanii* forest, which composes the timber line on about 2,060m elevation of sea level, is the pure community of *B. ermanii*. Diffraction pattern of wave distribution of *B. ermanii* due to boundary condition of alpine temperature gradient was found out on the timber line. Interference patterns of waves of *B. ermanii* communities produced by environment conditions such as soil layers, winds, snow and relief were shown on a specific area. These facts indicate that the *B. ermanii* individuals have wave and particle duality, the complementarity principle.

緒 論

白頭山은 韓國과 中國과의 國境에 位置하며 우리 나라에서는 白頭山이라고 부르나 中國에서는 長白山이라고 한다. 白頭山 頂上에는 最高 水深이 300m에 이르는 칼데라가 있으며 天池라 부르고 있다. 天池는 火山재가 덮은 현무암과 火山암 절벽으로 둘러싸여 있으며 물 표면 위로 400m가량 솟아있다. 급경사지역을 제외한 절벽과 깎아 자른 듯한 계곡과 돌출부는 지나간 氷河의 흔적으로 남아 있다. 칼데라의 주변은 植物의 生長에 부적절한 부석과 火山재로 이루어진 기질이 火山活動時에 형성되었음에도 불구하고 白頭山の 植生은 잘 가꾸어져 있다.

이러한 해발고도 2,060m이상의 高山性 ทุ่ง라지대에는 키가 10~20cm밖에 되지 않는 왜소성의 좀참꽃, 들쭉나무, 노랑만병초와 같은 관목이 깔려 있고 사스레나무가 Krummholz化하여 있는 것도 관찰되었다. 사스레나무로 이루어진 森林限界線(timber line)은 해발고도 2,060m에서 멀리 관찰할 때에는 一直線의 等高線과도 같이 보이거나 가까이 가 자세히 관찰하면 一直線이 아니라 波動性을 나타내는 것을 發見하였다.

그러므로 白頭山 西側斜面の 森林限界線の 波動性を 여러 環境要因중에서 H, 季節 및 年週期 리듬을 갖는 溫度因子가 사스레나무의 分布를 制限하는 環境要因으로 보고 해석하였다.

調查地所의 概況

白頭山은 동경 128°6', 북위 42°7'의 韓中國境에 위치한다. 해발고도는 가장 높은 장군봉까지는 2,749.6m에 이른다. 고도 1,800m 이상이 되면 정상에 보이기 시작하며 그 경사는 35~40°이다. 제4기 산성화산암류는 현무암 대지와 경사현무암 고원위에 솟아있는 장백산맥의 主峯을 이루고 있다.

약 650m의 두께로 제4기 산성용암이 제3기말 현무암위에 높이 싸여 층상의 화산추를 형성하였다. 고도 1,800m에서 2,100m까지는 기공이 많은 알칼리현무암, 응회암, 조면암으로 되어 있고 2,100m 이상 2,400m까지는 산성용암이 흐르면서 이루어진 유문암질암, 벤모라이트, 알칼리조면암, 코멘다이트, 판테라라이트 등의 alkaline 및 peralkaline 화산암들로 되어 있다. 2,500m에서 천지에 이르기까지는 경사가 급하며 미황색, 백색, 회백색, 회흑색 등의 부석으로 덮여 있다. 이 부석은 양적으로는 적으나 산포범위는 대단히 넓고 그 상태는 일정하지 않다. 가장 두껍게 분포된 곳은 天池 火山口 주위에 있는 각 봉우리들로 40m에서 60m인 곳도 있다.

白頭山の 머리에 두껍게 分布하는 이들 부석들은 人類歷史 時代의 1,400년전(1597년 8월 26일), 1,000년전(1668년 4월), 300년전(1702년 4월 14일)의 3회에 걸친 화산분출의 결과이다. 地質學的으로 볼 때 이 세차례의 화산활동은 소규모로 화산재, 수증기, 이산화탄소, 유화수소, 아황산가스, 염화수소 등이 분출되었을 것으로 추정하고 있다(홍, 1990).

白頭山 산록지대의 最近 10년간의 年平均溫度는 1.5°C~4.1°C이며 가장 더운 여름인 7월과 8월에도 기온이 낮아 11.0°C~11.3°C였고 연간 기온 교차와 낮과 밤의 溫度 교차가 대단히 큰 것이 특징인 것으로 알려졌다. 여름은 극히 짧고 겨울이 대단히 길며 눈과 얼음은 6월에서 8월사이에서만 녹는다. 강우량도 대단히 적어 일년을 통하여 575.5mm에 불과하나 그 대부분이 여름에 집중되어 있고 평균습도는 71%에 달하며 濃霧가 긴 날이 많다고 한다(吉林省環境保護研究所, 1988).

調查方法

調查日時

본 조사는 1989년 7월 24일부터 8월 15일까지 中國에 입국하여 1989년 8월 3일부터 8월 8일까지 白頭山에 체류하면서 조사를 실시하였다(張, 1990).

森林限界線

高度計와 5만분지 1의 白頭山 地圖를 이용하여 해발고도를 가능한 한 정확히 測定하였고 관목대와 森林帶의 境界面을 肉眼으로 遠近別 觀察을 시행하고 사진촬영을 하여 분석하였다.

森林群落

方形區法, 接線法, point法 및 間隔法을 지세, 지형, 군락에 따라 신속하게 調查할 수 있는 방법을 선정하여 보다 많은 시간 절약을 위해 표지한 방형구 전체를 사진촬영하여 사진으로 군락분석을 하였다.

階層構造

森林群落內에서 構成植物의 垂直的 配列狀態를 高木層, 低木層, 草本層 및 이끼層을 조사하여 계층구조를 조사하였다.

直徑分布

林木의 직경은 일반적으로 胸高直徑(DBH)를 측정하여 조사하였다.

樹冠分布

森林 樹木의 樹冠과 gap은 森林群落內에서 수관을 사진촬영하여 수관의 크기와 줄기의 존재 위치를 조사하였다.

調査場所

白頭山의 中國側 西部 中斜面의 사스레나무(*Betula ermanii*; 岳樺)林으로 이루어진 森林限界線이다(張, 1990).

結果 및 論議

白頭山의 森林限界線

Fig. 1에서 보는 바와 같이 白頭山頂에서 中國側의 西部 斜面을 바라보면 칼로 자른 듯한 森林限界線을 관찰할 수 있다. 森林限界線의 해발고도를 측정한 결과 2,000~2,060m였고 森林限界線을 이루고 있는 樹木은 사스레나무(*Betula ermanii*; 岳樺)였다.

金(1990)에 의하면 白頭山의 北韓側 斜面에는 좀잎갈나무(*Larix olgensis*)가 1,900~2,000m에서 森林限界線을 이루고 있으며 北西風과 西風이 강하게 불기 때문에 모두 南東方向으로 휘어진 것을 볼 수 있고 이들 바람을 적게 받는 南東斜面의 골짜기에서는 분비나무(*Abies nephrolepis*), 종비나무(*Picea koraiensis*)와 같은 침엽수가 2,100m高度까지 국부적으로 生育하고 있는 곳도 있다고 한다. 이 지역 중에서도 경사선 방향으로 흘러내리는 溪流의 양쪽에는 사스레나무의 生育限界線도 관찰된다고 한다. 中國側의 西部 斜面에서는 좀잎갈나무가 1,780m의 高度까지, 가문비나무(*Picea jezoensis*)는 1,980m까지 分布하며 왜소성 사스레나무는 平均 2,020m까지 분포하나 2,080m의 지점에서는 1.5~2m의 樹高로 生育하고 있다고 하였다(朴, 1943; 鄭, 1989).

錢(1956)에 의하면 사스레나무林은 2,100m의 高度까지 분포하고 있으며 吉林省 環境保護研究所(1988)의 보고에 따르면 사스레나무의 矮曲林이 1,800~2,100m까지 분포한다. 李(1989)는 2,000m가까이의 삼림한계선에는 줄기 밑에서 여러 갈래로 갈라져 자란 자작나무의 일종인 키가 작은 뫼자작나무가 群落을 이루고 있는 것이 뚜렷하다고 하였다. 李(1989)는 해발고도 2,000m에 오르니 칼로 끊은 듯한 삼림한계선이 나타나며 삼림한계선의 樹種은 만주자작나무가 優點種이라고 하였다.

이상의 調査結果로 미루어 볼 때 白頭山의 中國側 西部 斜面에서는 森林限界線이 거의 2,060m의 해발고도내외에서 나타나며 矮小性 사스레나무林으로 이루어져 있다는 것을 알 수 있다.

森林限界線의 波動性

白頭山의 森林限界線을 이루고 있는 사스레나무林은 Fig. 1에서 보는 바와 같이 一直線으로 等高線처럼 보이는 것 같으나 波動性 分布를 하고 있다. 延邊 人民出版社(1989)의 長白山

遠眺와 延邊對外文化交流中心(1989)의 白頭山游覽圖 등 관광용 사진에서도 森林限界線의 波動性을 관찰할 수 있다. 이것은 삼림한계선의 波動性에 대한 主觀性을 배제하는 客觀的 資料로 중요하다고 생각된다.

이 森林限界線의 波動分布는 康(1989)이 보고한 wave-regeneration과는 차이가 있는 것으로 전자는 樹木의 分布限界 地域에서 나타나고 후자의 경우는 分布限界線과는 관계없이 森林內에서 出現한다는 점이 다르다고 생각되나 좀더 많은 調査와 깊은 研究가 필요하다. 또한 wave regeneration은 바람이 環境因子로 作用하는 것으로 보고 있으나 森林限界線은 溫度勾配라는 점이다.

森林限界線의 回折像

森林限界線의 波動分布는 이제까지의 生態學的 概念으로는 설명할 수 없는 것으로 생각된다.

高山에서 해발고도에 따라 作用하는 限定要因이 溫度勾配라는 것은 주지의 사실이다. Fig. 1에서 보는 바와 같이 白頭山의 西部斜面에서 관찰되는 사스레나무林으로 이루어지는 森林限界線이 사스레나무 分布의 임계조건으로 溫度因子가 作用하는 불연속면에서 사스레나무 分布의 回折像(diffraction pattern)이 發現된 것으로 해석된다. 이와 같은 현상은 사스레나무 個體가 粒子性(particle)과 동시에 波動性을 갖는 分布行動을 하기 때문이라고 해석된다.

사스레나무群落의 溫度勾配에 의하여 有限分布를 하는 白頭山의 해발고도 2,060m내외의 空間에서 일어나는 현상을 말할때 그 사스레나무群落의 境界面에서 주어지고 있는 조건이 있다. 이 조건을 數學이나 物理學에서는 境界條件(boundary condition)이라고 하는데 이 경계조건이 植物群落에도 存在한다는 사실을 白頭山의 森林限界線에서 發見한 것이다.

이 경계조건하에서 사스레나무群落은 分布波를 발현하며 이 경우에는 植物의 個體들의 變位이다. 溫度勾配를 가진 大氣와 土壤의 媒質속에서 分布波의 전파를 해석할 수 있다.

森林限界線의 干涉像

Fig. 1에서 볼 수 있는 사스레나무林的 波動性은 回折像과는 달리 복잡한 龜裂分布像을 나타낸다. Fig. 1과 같이 사스레나무群落의 境界條件으로는 溫度 이외에 地層, 岩石層, 土壤, 바람, 눈(雪), 地形, 地勢 등이 波動性을 나타낼 때 2個 以上の 波動이 같은 時間, 같은 空間에서 만날 때 發現되는 分布現像이 干涉像(interference pattern)이다. 이 현상으로 미루어 볼때도 사스레나무個體의 행동은 粒子性인 동시에 波動性임을 再確認해 주는 것으로 해석된다.

이상의 調査結果의 考察에서 알 수 있는 바와 같이 白頭山의 中國側 西部斜面에서 나타나는 森林限界線의 波動性은 사스레나무林的 回折像과 干涉像으로 볼 때 사스레나무個體의 粒子性과 波動性의 分布行動에 그 原因이 있는 것으로 사료된다.

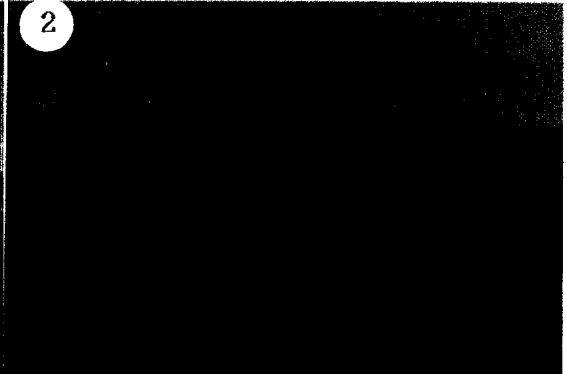
森林限界線의 構造

白頭山의 사스레나무林은 中國側 西部斜面의 2,060m전후의 高度에서 波動性의 森林限界線을 이루고 있다는 것은 前述한 바와 같다. 天池의 주변에는 장군봉(2,749.6m), 백암봉(2,640m), 천문봉(2,670m), 용문봉(2,595.7m), 지반봉(2,603.1m), 백운봉(2,691m), 녹주봉(2,662.3m)등의 高度 2,500m 이상 되는 16개의 외륜산이 있다(홍, 1990). 이들로 둘러싸여 있는 천지 수면 2,200m보다 약간 높은 달문에서 머지 않은 天池邊에 Fig. 2에서 보는 바와 같이 높이 2m정도의 사스레나무 한그루가 生育하고 있었다. 이것은 白頭山의 森林限界線을

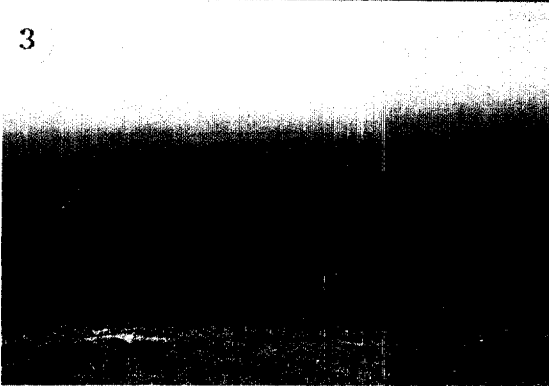
1



2



3



4



5



6



7



8



Fig. 1. Explanations of photographs of the timber line on Paektusan :

- (1) Diffraction patterns of wave character of the timber line, composed by *B. ermanii* (Yeonpyeoninminchoolpansa, 1989)
- (2) Diffraction patterns of wave distributions of *B. ermanii* on the timber line
- (3) Wave of the timber line of a *B. ermanii* community
- (4) Shrub communities of *Rhododendron aureum* and *R. redowskianum*
- (5) A wave of the *B. ermanii* timber line
- (6) Their shrub communities of *R. aureum*
- (7) Interference patterns of wave distributions
- (8) Interference patterns of waves of *B. ermanii* timber line



Fig. 2. A photograph of *Betula ermanii* grown up on the inside slope of Cheonji on the top of Paektusan.

이루는 樹木은 사스레나무이며 溫度가 分布의 限定要因을 나타내고 있다고 생각된다.

白頭山 西側 中部 斜面의 高度2,060m內外에서 森林限界線을 만들고 있는 사스레나무林은 Fig. 1~3에서 보는 바와 같이 사스레나무喬木만으로 構成되어 있는 純사스레나무群落이다. 高度가 가장 낮은 森林限界線으로부터 제1회 절과, 제2 회절과, 제3 회절과, ...등으로 해발 고도가 높아질수록 사스레나무群落的 分布波는 약해지는 것을 觀察할 수 있었다.

Fig. 3은 白頭山 西側 中部 斜面에서 제1차~제3차 사스레나무群落的 森林限界線의 波動性을 보여 주는 一例이다. 이 森林限界線의 波動性은 地形, 地勢 등과 같은 環境要因에 따라 다르게 관찰되는데 일반적으로 계곡에는 상당히 사스레나무의 生育限界가 上昇되는 것을 볼 수 있으나 그 波動性은 점차로 약해진다. 高度가 높은 곳에서 生育하고 있는 사스레나무일수록 矮小하고 密度가 낮으며 드문드문 나 있었다. Fig. 3에서 보는 바와 같이 제3차 사스레나무群落波를 構成하고 있는 사스레나무의 DBH(胸高直徑)는 平均 13cm 내외였으나 이보다 가는 것

도 많았다. 줄기는 모두 하나같이 頂上을 향하여 弓形으로 굽었고 50~70% 程度로 樹冠이 發達되어 있었다. 제2차과에서는 弓形으로 굽은 줄기가 高度가 낮아질수록 屈曲이 완만해지며 제1차과나 森林限界線에 이르면 完全히 直立되어 樹高는 7cm내외에 이르고 樹冠은 60~80%로 발달한다. 森林限界線의 사스레나무가 頂上을 향하여 활동처럼 굽는 것은 積雪의 下向移動에 原因이 있는 것으로 解釋된다.

사스레나무群落的 層狀構造는 喬木과 幼木層이 比較的 잘 발달되어 있으며 林床에는 10cm 程度의 높이로 矮小한 灌木인 노랑만병초(*Rhododendron aureum*), 들쭉나무(*Vaccinium uliginosum*), 좀참꽃(*Rhododendron redowskianum*), 가솔송(*Phyllococe coerulea*) 등의 優點種으로 이루어진 苔판이 10cm 程度의 높이로 빈틈없이 깔려 발달하고 있었으나 제2차과, 제1차과, 森林限界線을 지나 내려가면 下部植生은 20cm 以上の 높이로 자란다.

이들 사스레나무群落的의 波間距離는 4.6~51.0m로 一定치 않았고 사스레나무群落波는 2.5~50.0m였다. 그러므로 白頭山의 西側 中部 斜面에서 볼 수 있는 사스레나무群落으로 이루어진 森林限界線의 波動分布의 波長은 7.1~101.0m이라는 것을 알 수 있었다. 그러나 波長 역시 森林의 立志條件에 따라 變化하는 것으로 생각된다.

이상과 같은 生態現象은 사스레나무個體의 粒子的 特性과 分布行動에 대한 波動性을 나타내는 相補性 原理(complementarity principle)라는 것을 알 수 있다.

要 約

白頭山 西側 中部 斜面에서 나타나는 森林限界線을 調査하여 研究한 結果는 다음과 같다. 해발 高度 2,060m에서 나타나는 白頭山의 森林限界線은 사스레나무만으로 構成된 純사스레나무群落이었으며 波動分布는 限界條件으로 作用하는 溫度勾配에 의한 不連續面에서 사스레나무 分布의 回折像이 發見되었고 境界條件으로 溫度이외에 地層, 土壤, 바람, 눈, 地形, 地勢 등이 波動性을 나타내는 地域에서 干涉像도 관찰되었다. 이 生態現象을 사스레나무個體의 分布에 대한 粒子的 特性과 波動性의 相補性 原理의 發現으로 解釋하였다.

引 用 文 獻

- 康祥俊, 1989. 漢拏山 구상나무숲의 再生에 對하여. 第17回 國際學術大會 林地生態系의 保存. 大韓民國學術院 pp. 23-52.
- 吉林省環境保護研究所, 1988. 長白山地之 自然資源開發與生態環境保護. 吉林科學技術出版社 pp. 1-355.
- 金潤植, 1990. 白頭山의 植物과 自然保護. 자연보존 韓國자연보존협회 69 : 36-48.
- 朴萬奎, 1942. 朝鮮高山植物目錄. 朝鮮博物學會誌 9(33) : 1-12.
- 延邊對外文化交流中心, 1989. 白頭山游覽圖. 延邊新華印刷廠.
- 延邊人民出版社, 1989. 長白山, 長白山遠眺, 延邊人民出版社.
- 李永魯, 1989. 中國旅行(Ⅱ) 白頭山 旅行記. 자연보존. 韓國자연보존협회 65 : 26-30.
- 李愚喆, 1989. 長白山의 植物紀行. 자연보존. 韓國자연보존협회 68 : 17-21.
- 李昌福, 1982. 大韓植物圖鑑. 鄉文社 pp. 598-604.
- 張楠基, 1990. 韓國에 있어서 白頭山의 高山툰드라지대와 高山과 亞高山帶의 高山툰드라 植物相의 比較. 백두산의 自然생태계와 지질예비조사. 과학기술처 pp. 46-67.
- 錢家駒, 1952. 長白山 西側 中部 森林植物調查報告. 植物生態學與地植物學資料叢刊 第10號 科學出版社 pp. 1-43.
- 鄭英昊, 1989. 우리나라 高山植物의 分布特性. 자연보존. 韓國자연보존협회 66 : 29-38.
- 홍영국, 1990. 白頭山의 地質, 백두산 自然생태계와 地질예비조사. 과학기술처 pp. 23-44.
- (1990年 11月 29日 接受)

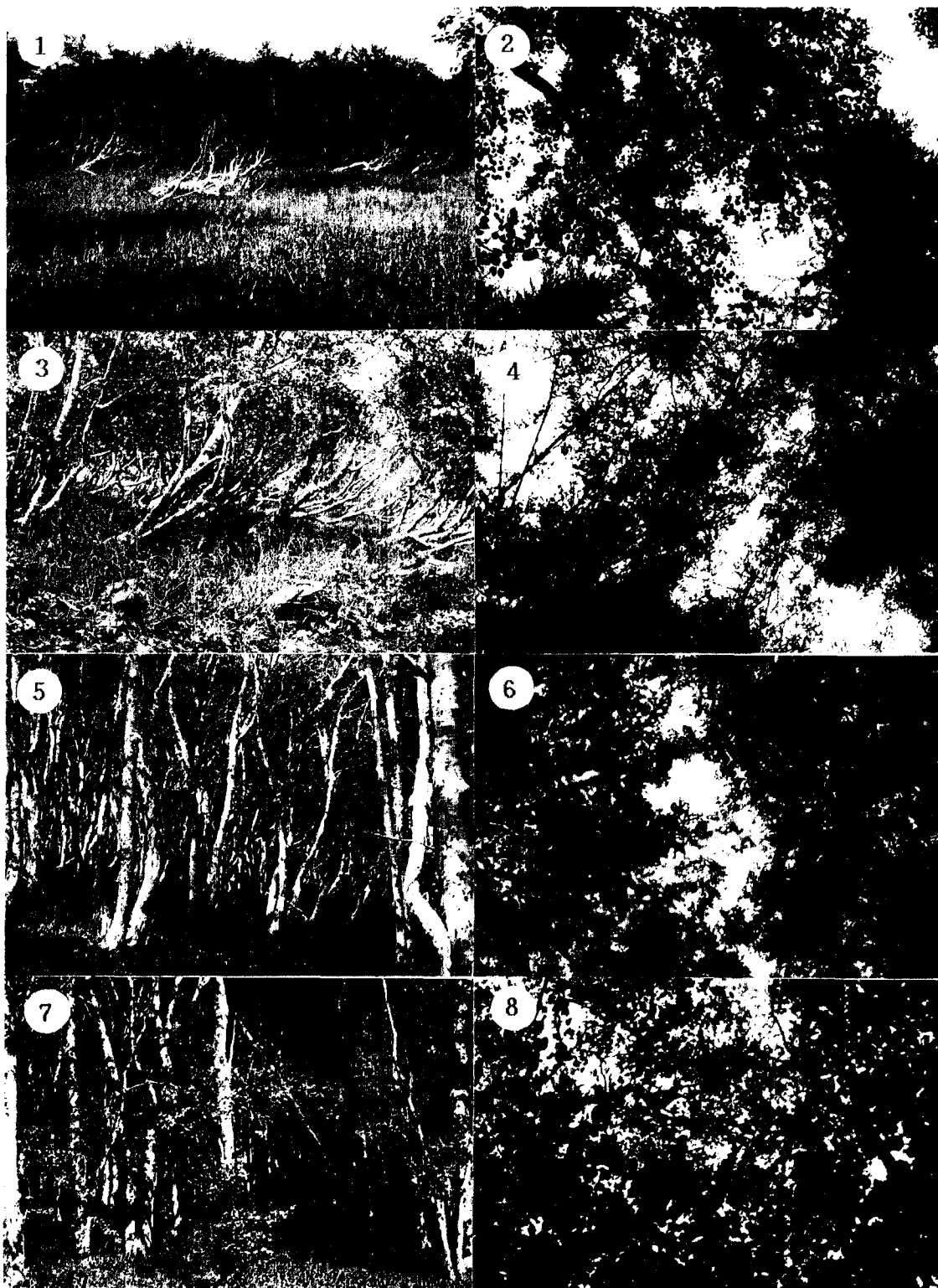


Fig. 3. Explanations of photographs of the timber line composed by *B.ermanii* on Paektusan :

- (1) and (2). Third wave of the timber line and their canopy.
- (3) and (4). Secondary wave of the timber line and their canopy.
- (5) and (6). First wave of the timber line and their canopy.
- (7) and (8). The timber line of *B.ermanii* communities and their canopy.