

TWINSpan과 DCCA에 의한 中旺山의 森林群集과 環境의 相關關係 分析¹

宋鎬京² · 權琦遠² · 李敦求³ · 張奎寬² · 禹仁植⁴

The Analysis of Vegetation-Environment Relationships of Mt. Jungwangsans by TWINSpan (Two-Way Indicator Species Analysis) and DCCA (Detrended Canonical Correspondence Analysis) Ordination¹

Ho Kyung Song², Ki Won Kwon², Don Koo Lee³, Kyu Kwan Jang² and In Shik Woo⁴

要 約

中旺山 森林群集의 種 組成과 立地와의 關係를 究明하기 위하여 TWINSpan과 DCCA를 使用하여 分析한 結果는 다음과 같다.

中旺山의 森林 植生은 *Quercus mongolica-Tilia amurensis*, *Quercus mongolica-Rhododendron schlippenbachii*, *Quercus mongolica-Kalopanax pictus*, *Quercus mongolica-Carpinus cordata*, *Quercus mongolica-Cornus controversa*, *Betula costata*, *Fraxinus mandshurica*, *Ulmus laciniata* 群集으로 區分 할 수 있다.

主要 群集들과 環境 要因들과의 關係로 보면 *Ulmus laciniata*, *Betula costata*, *Fraxinus mandshurica* 群集은 *Quercus mongolica* 그룹보다 海拔高가 낮은 溪谷部에, 그리고 Mg^{++} , 全窒素, Ca^{++} 등의 養料가 많은 곳에 주로 分布하고 있다.

Quercus mongolica-Kalopanax pictus 群集은 海拔高가 높고 Ca^{++} , C.E.C., Mg^{++} , 全窒素 등의 養料가 많은 곳에 주로 分布하고 있으며, *Quercus mongolica-Rhododendron schlippenbachii* 群集은 반대로 신갈나무 그룹중에서 海拔高는 낮고 Ca^{++} , C.E.C., Mg^{++} , 全窒素 등의 養料가 적은 곳에 주로 分布하고 있다. 그리고 *Quercus mongolica-Carpinus cordata* 群集과 *Quercus mongolica-Cornus controversa* 群集은 위의 두 群集의 中間 部分에 주로 分布하고 있다.

群集의 分布에 影響을 미치는 環境 要因들은 海拔高와 地形 條件이다.

ABSTRACT

Vegetational data obtained from 50 quadrats of Mt. Jungwangsans area were analysed by applying two multivariate methods: two-way indicator species analysis (TWINSpan) for classification and detrended canonical correspondence analysis (DCCA) for ordination. DCCA technique allowed to extract the ordination axes that could be related to 15 environmental factors.

The forest vegetation in Mt. Jungwangsans was classified into *Quercus mongolica-Tilia amurensis*, *Quercus mongolica-Rhododendron schlippenbachii*, *Quercus mongolica-Kalopanax pictus*, *Quercus mongolica-Carpinus*

¹ 接受 1992年 4月 24日 Recieved on April 24, 1992.

² 忠南大學校 農科大學 College of Agriculture, Chungnam National University, Taejon, Korea.

³ 서울大學校 農業生命科學大學 College of Agriculture Life Science, Seoul National University, Suwon, Korea.

⁴ 忠清南道 農村振興院 Chungnam Provincial Office of Rural Development, Taejon, Korea.

cordata, *Quercus mongolica*-*Cornus controversa*, *Betula costata*, *Fraxinus mandshurica*, and *Ulmus laciniata* communities according to the TWINSPAN.

The relationships between the distribution of dominant species of forest vegetation and soil condition in Mt. Jungwangsang were investigated by analyzing elevation and soil nutrition gradient.

Ulmus laciniata, *Betula costata*, and *Fraxinus mandshurica* forest were distributed in a ravine of the low elevation and in the good nutrition area of Mg^{++} , total nitrogen, and Ca^{++} , *Quercus mongolica* groups in the high elevation and in the poor nutrition area.

Quercus mongolica-*Kalopanax pictum* forest of *Quercus mongolica* groups was distributed in the high elevation and in the good nutrition area of Ca^{++} , C.E.C., Mg^{++} , and total nitrogen, *Quercus mongolica*-*Rhododendron schlippenbachii* forest in the low elevation and poor nutrition area. *Quercus mongolica*-*Carpinus cordata* forest and *Quercus mongolica*-*Cornus controversa* forest were distributed in the medium elevation and medium nutrition area.

The two dominant factors influencing community distribution were elevation and topography.

Key words : Mt. Jungwangsang ; TWINSPAN ; DCCA ; Direct gradient analysis .

緒 論

森林 群集은 環境 要因에 따라 그 構造가 달라지며, 群集 構造와 動態를 分析하는 데에는 ordination 方法이 널리 利用되고 있다. Ordination은 植生들을 한개 또는 그 이상의 生態學的 勾配에 排列하는 過程으로^{4,10,11}, 多變量 data set에서 類型을 찾는 分析 方法이라고 말할 수 있다.

Greig-Smith¹², Ter Braak^{30,32}는 ordination의 目的은 群集의 構造를 밝히고 群集에서 植生과 環境과의 相互作用에 대한 假定을 類推해 내는 것이라고 하였다.

Andersson⁹, Gibson and Greig-Smith⁹, Hill^{13,14,15}, Hill and Gauch¹⁶, Huang and del Moral¹⁷, Hukusima and Kershaw¹⁸, Lahti and Väisänen¹⁹, Walker and Peet³⁵, Whittaker³⁹ 등은 polar ordination보다 개선된 reciprocal averaging과 detrended correspondence analysis(DCA)를 使用하였고, DCA 方法은 새로운 ordination 方法으로 報告되었다^{8,34}.

Whittaker^{36,37,38}는 環境的인 ordination 方法에 接近하는데 直接的인 句配分析 方法을 처음으로 使用하였고, Peet^{25,26}와 Gaugh⁸는 環境 因子에 따른 種의 分布 傾向을 보여주었다.

(Detrended) canonical correspondence analysis((D)CCA)는 weighted averaging ordina-

tion의 확장으로 環境 變異에 따라 種을 排列하는 方法으로, 群集 構成과 環境 變異에 대한 資料를 分析하는데 더 알맞는 方法이다^{30,32,33}. (D)CCA는 種과 環境과의 相關 關係를 밝히고 環境 變異에 따른 種의 反應에 대한 特別한 問題들을 調査하기 위하여 使用되었다^{1,5,7,23,27,28,29,41}.

本 研究은 中旺山 地域의 森林 植生과 環境 要因과의 關係를 究明하기 위하여 ordination 方法을 使用하여 分析하였다.

調查 및 分析 方法

1. 調查地의 概況

調查地域은 中旺山(海拔 1,384m) 附近으로 동경 128°30′-33′ 북위 37°28′-30′ 사이에 위치하고 있으며, 行政區域 上으로는 江原道 平昌郡에 속하고 있다.

이 地域의 氣候는 平昌과 大關嶺(1980-1989년)의 氣象 資料에 의하면 平昌이 年平均 氣溫은 10.3°C, 年平均 降水量은 1,082mm이고, 大關嶺이 年平均 氣溫은 6.2°C, 年平均 降水量은 1,639 mm로 climate diagram을 보면(Fig. 1) 冷溫帶 落葉 廣葉樹林帶의 氣候의 特性을 나타내고 있다⁴⁰.

이곳의 植生은 大部分이 2次林으로 *Betula costata*, *Quercus mongolica*, *Cornus controversa*, *Ulmus laciniata*, *Fraxinus mandshurica*, *Acer mono* 등이 優占하고 있다^{20,21}.

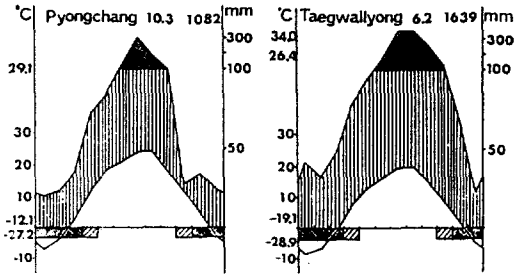


Fig. 1. Climate diagram of Pyongchang and Taegwallyong near Mt. Jungwangsans.

2. 植生 및 土壤 環境 調査

1991年 6월부터 8月 사이에 Braun-Blanquet에 基礎를 둔 Mueller - Dombois & Ellenberg²⁴⁾의 relevé method에 의하여 50個所를 選定하여 植生 調査를 實施하였다(Fig. 2).

方形區는 15m×15m의 크기로 設置하고, 胸高 直徑 3cm 以上の 樹木을 對象으로 每木 調査를 實施하였다.

土壤 環境 要因으로는 調査地의 方位, 傾斜, 海拔高 및 地形 條件을 測定하였다. 方位는 나침반을 使用하여 8個 方位로 區分하였고, 傾斜度는 Blume-Leiss의 傾斜測定器를 利用하여 測定하였으며, 地形 條件은 溪谷部, 평탄부 및 稜線部로 區分하였다. 그리고 土壤 試料는 各 方形區에서 1個所씩 A層에서 2kg의 試料를 採取하였다.

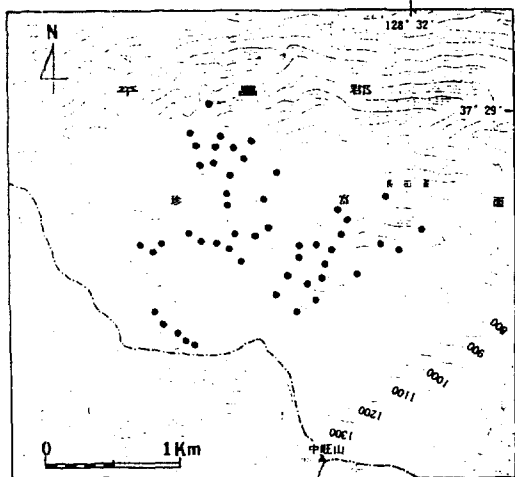


Fig. 2. Sampling plots in Mt. Jungwangsans.

3. 土壤 分析

土性은 pipette method에 의하여 分析하였고, 土壤 酸度는 土壤 試料와 蒸溜水를 1:5의 比率로 섞어 測定하였다. 모든 化學 分析은 Allen et al.²⁾의 方法에 의하여 全窒素는 micro-Kjeldahl 法, 有機物 含量은 Tyurin法, 有效磷酸은 Lancaster法으로 定量하였다. 置換性 Ca⁺⁺와 Mg⁺⁺는 原子吸光分光 分析法을, K⁺는 炎光分光 分析法을 使用하였고, C.E.C는 Brown法에 의거하였다.

4. Ordination 分析

植生 調査의 資料로부터 各種의 合成值 X_{ij}를 다음과 같이 구하였다.

$$X_{ij} = (d_{ij} + D_{ij}) / 2$$

X_{ij}는 j調査區에서 種 i의 合成值이며, d_{ij}는 相對密度, D_{ij}는 相對被度를 나타낸다.

合成值 X_{ij}를 가지고 各 調査區에 따른 種 組成을 나타내는 vegetational data matrix를 作成하였으며, 또한 野外 調査와 實驗室 測定 結果 얻어진 環境 要因들을 利用하여 environmental data matrix를 作成하였다.

Classification은 Hill¹⁵⁾의 TWINSpan(Two-way Indicator SPecies ANalysis)을 利用하였으며, 얻어진 資料는 0%, 2%, 5%, 10%, 20%의 cut level이 使用되었다. 各 調査區에서 20% 以上の 重要值는 그 調査區의 優占種으로 간주되었다.

Ordination은 DCA(Detrended Correspondence Analysis)의 확장인 DCCA(Detrended Canonical Correspondence Analysis)를 使用하였으며^{15,16)}, 이 方法은 多變量의 置換 勾配 分析 方法으로^{30,32,33)} DCCA는 ordination 軸 위에 植生과 環境과의 相關 關係를 가장 잘 보여주며, Ter Braak³¹⁾의 CANOCO를 使用하여 分析하였다.

結果 및 考察

TWINSpan과 DCCA에 의하여 分析한 結果는 Fig. 3, Fig. 4와 같다.

Fig. 3에서 보는 바와 같이 中旺山의 森林 群集은 *Quercus mongolica*-*Tilia amurensis*, *Quercus mongolica*-*Rhododendron schlippenba*

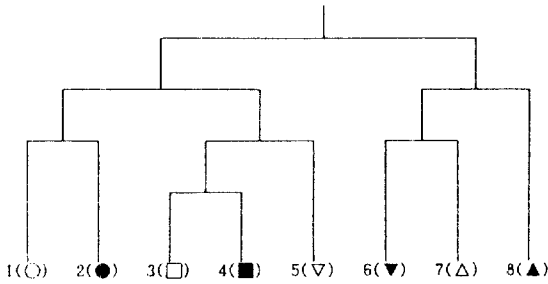


Fig. 3. The pathway of sub-division into groupings of Mt. Jungwangsang vegetation using TWINSPAN. Dominants; 1. *Quercus mongolica*-*Tilia amurensis*; 2. *Quercus mongolica*-*Rhododendron schlippenbachii*; 3. *Quercus mongolica*-*Kalopanax pictus*; 4. *Quercus mongolica*-*Carpinus cordata*; 5. *Quercus mongolica*-*Cornus controversa*; 6. *Betula costata*; 7. *Fraxinus mandshurica*; 8. *Ulmus laciniata*.

chii, *Quercus mongolica*-*Kalopanax pictus*, *Quercus mongolica*-*Carpinus cordata*, *Quercus mongolica*-*Cornus controversa*, *Betula costata*, *Fraxinus mandshurica*, *Ulmus laciniata*의 8 group으로 나누어지는 것을 볼수 있다.

Fig. 4에서 Fig. 3에 의하여 選定된 8group의 主要 優占種과 12個의 環境 要因들을 DCCA ordination 結果 最初 1, 2軸에 의한 I/II平面上에 나타낸 것이다.

Fig. 4에서 보는 바와 같이 中旺山의 森林 群集은 12個의 環境 要因에 따라 分布하고 있고, 이들 環境 要因들과 DCCA ordination 結果에 의한 第一, 第二軸과 相關關係를 살펴보면 (Table 1), 여러 環境 要因들이 群集의 分布와 깊은 相關關係가 있으며, 第一軸에서는 地形 條件이 가장 높은 相關關係가 있음을 알 수 있으며, 다음으로 Mg⁺⁺, 全窒素, Ca⁺⁺ 등이 相關關係가 높으며, 第二軸에서는 海拔高가 높은 相關關係를 보여주고 있다.

第一軸과 第二軸에서 相關關係가 가장 높은 것을 基準으로 볼때, 群集의 分布에 影響을 미치는 重要한 環境 要因들은 地形 條件과 海拔高라는 것을 알 수 있으며, 이러한 結果는 宋^{28,29)}, 俞와 宋⁴¹⁾의 結果와도 一致한다. 또한 主要 群集들과 環境 要因들과의 關係로 보면 *Ulmus laciniata*, *Betula costata*, *Fraxinus mandshurica* 群集은 *Quercus mongolica* 그룹보다 海拔高가 낮은 溪谷

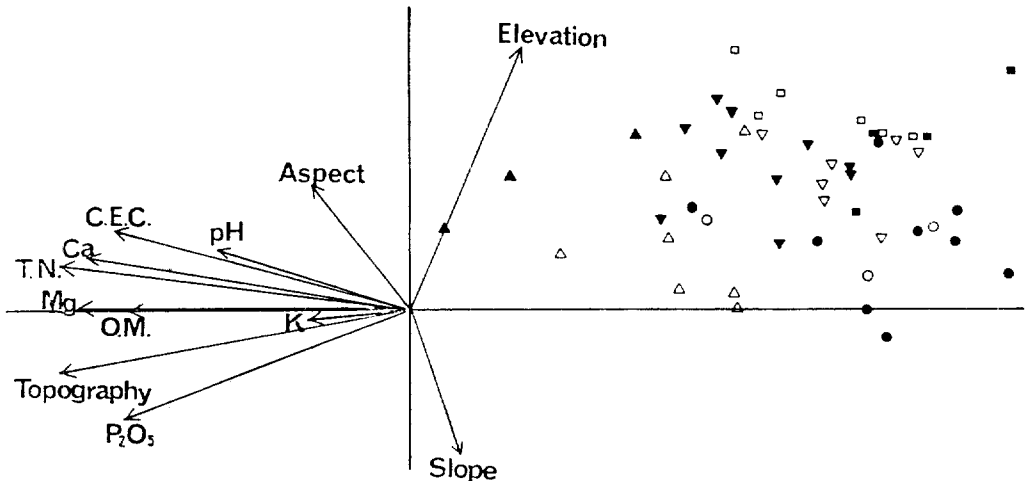


Fig. 4. Mt. Jungwangsang vegetation data : DCCA (detrended canonical correspondence analysis) ordination diagram with plots (○, ●, □, ■, ▽, ▼, △, ▲) and environmental variables (arrow). The plots are : ○ = *Quercus mongolica*-*Tilia amurensis* forest ; ● = *Quercus mongolica*-*Rhododendron schlippenbachii* forest ; □ = *Quercus mongolica*-*Kalopanax pictus* forest ; ■ = *Quercus mongolica*-*Carpinus cordata* forest ; ▽ = *Quercus mongolica*-*Cornus controversa* forest ; ▼ = *Betula costata* forest ; △ = *Fraxinus mandshurica* forest ; ▲ = *Ulmus laciniata* forest. The environmental variables are : T. N. = total nitrogen ; O. M. = organic matter ; P₂O₅ = available phosphorus concentration ; C. E. C. = cation exchange capacity ; K = potassium concentration ; Ca = calcium concentration ; Mg = magnesium concentration.

Table 1. Mt. Jungwangsansan vegetation data from Fig. 4 : canonical coefficients and the inter set correlation of environmental variables with the first two axes of detrended canonical correspondence analysis. For a description of variables, see Fig. 4 legend.

Variables	Axis	Canonical coefficients		Correlation coefficients	
		1	2	1	2
Total nitrogen		-0.852	0.162	-0.593**	0.055
Organic matter		0.386	-0.107	-0.484**	-0.032
P ₂ O ₅		0.063	-0.368	-0.525**	-0.236
C.E.C.		0.649	0.044	-0.538**	-0.149
K ⁺		0.121	0.010	-0.238	0.057
Ca ⁺⁺		-0.273	0.359	-0.587**	0.131
Mg ⁺⁺		-0.410	-0.149	-0.610**	0.037
pH		-0.050	0.042	-0.369**	0.157
Elevation		0.117	0.254	0.186	0.593**
Aspect		-0.138	0.056	-0.213	0.330*
Slope		0.054	0.013	0.072	-0.287*
Topography		-0.304	0.022	-0.633**	-0.126
Eigenvalue		0.413	0.152		

*p<.05 ; **<.01.

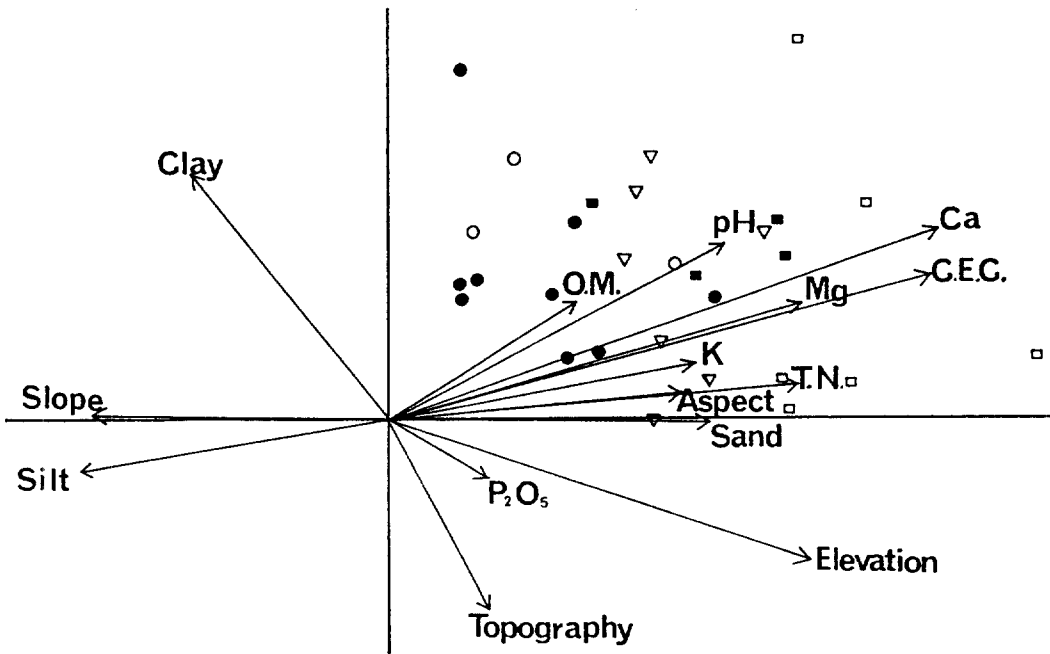


Fig. 5. *Quercus mongolica* community vegetation data : DCCA (detrended canonical correspondence analysis) ordination diagram with plots(○, ●, □, ■, ▽) and environmental variables(arrow). The plots are : ○ = *Quercus mongolica*-*Tilia amurensis* forest ; ● = *Quercus mongolica*-*Rhododendron schlippenbachii* forest ; □ = *Quercus mongolica*-*Kalopanax pictus* forest ; ■ = *Quercus mongolica*-*Carpinus cordata* forest ; ▽ = *Quercus mongolica*-*Cornus controversa* forest. The environmental variables are : T.N.=total nitrogen ; O.M.=organic matter ; P₂O₅=available phosphorus concentration ; C.E.C.=cation exchange capacity ; K=potassium concentration ; Ca=calcium concentration ; Mg=magnesium concentration.

Table 2. *Quercus mongolica* community vegetation data from Fig. 5 : canonical coefficients and the inter set correlation of environmental variables with the first two axes of detrended canonical correspondence analysis. For a description of variables, see Fig. 5 legend.

Variables	Axis		Canonical coefficients		Correlation coefficients	
	1	2	1	2	1	2
Total nitrogen	0.32	-0.90	0.485**	-0.029		
Organic matter	-0.34	0.21	0.270	0.131		
P ₂ O ₅	-0.07	0.10	0.132	-0.112		
C.E.C.	0.34	-0.59	0.620**	0.109		
K ⁻	-0.22	0.09	0.355	0.041		
Ca ⁺⁺	0.14	0.64	0.622**	0.171		
Mg ⁺⁺	-0.16	0.68	0.470**	0.110		
pH	0.11	-0.09	0.366	0.196		
Elevation	0.26	0.19	0.522**	-0.319		
Aspect	0.15	-0.20	0.342	-0.026		
Slope	0.12	-0.07	-0.351	0.092		
Topography	0.14	-0.39	0.150	-0.276		
Sand	-2.26	2.19	0.384*	-0.061		
Silt	-2.17	2.04	-0.356	-0.027		
Clay	-0.43	0.61	-0.267	0.436*		
Eigenvalue	0.248	0.128				

*p < .05 ; ** < .01.

部에, 그리고 Mg⁺⁺, 全窒素, Ca⁺⁺ 등의 養料가 많은 곳에 주로 分布하고 있다.

Quercus mongolica 그룹들은 分布 區域이 서로 重複되어 있어, 이들 群集들과 環境 要因들과의 關係를 명확히 區分되지 않는다. 그래서 이들의 群集중 신갈나무群 만을 對象으로 DCCA를 分布한 結果는 Fig. 5와 같다.

Fig. 5에서 보는 바와 같이 中旺山の 신갈나무 群集은 15個의 環境 要因에 따라 分布하고 있고, 이들 環境 要因들과 DCCA ordination 結果에 의한 第一, 第二軸과 相關關係를 살펴보면 (Table 2), 第一軸에서는 Ca⁺⁺, cation exchange capacity(C.E.C.), 海拔高, 全窒素, Mg⁺⁺ 등이 높은 相關關係를 보여주고 있다. 主要 群集들과 環境 要因들과의 關係로 보면 *Quercus mongolica-Kalopanax pictus* 群集은 海拔高가 높고 Ca⁺⁺, C.E.C., Mg⁺⁺, 全窒素 등의 養料가 많은 곳에 주로 分布하고 있으며, *Quercus mongolica-Rhododendron schlippenbachii* 群集은 *Quercus mongolica-Kalopanax pictus* 群集과는 반대로 신갈나무 그룹중에서 海拔高는 낮고 Ca⁺⁺, C.E.C., Mg⁺⁺, 全窒素 등의 養料가 적은 곳에 주로 分布하고 있다. 그리고 *Quercus mongolica-Carpinus cordata* 群集과 *Quercus mongolica-Cornus controversa* 群集은

위의 두 群集의 中間 部分에 주로 分布하고 있다.

引用 文 獻

1. Allen, Rob. 1988. Latitudinal variation in southern Rocky Mountain forests. Ph.D. thesis. The University of North Carolina.
2. Allen, S.E., H.M. Grimshaw and A.P. Rowland. 1986. Chemical analysis. Pages 285-344 in Moore, P.D. and S.B. Chapman, ed. Methods in plant ecology. 2nd ed. Blackwell Scientific Pub. Oxford.
3. Andersson, Per-Arne. 1988. Ordination and classification of operational geographic units in Southwest Sweden. *Vegetatio* 74 : 95-106.
4. Austin, M.P. 1976. Performance of four ordination techniques assuming three different non-linear species response models. *Vegetatio* 33 : 43-49.
5. Cramer, W. and H. Hytteborn. 1987. The separation of fluctuation and long-term change in vegetation dynamics of a rising seashore. *Vegetatio* 69 : 157-167.
6. Curtis, J.T. and R.P. McIntosh. 1951. An upland forest continuum in the prairie forest

- border region of Wisconsin. *Ecology* 32 : 476-496.
7. Fängström, I. and E. Willén. 1987. Clustering and canonical correspondence analysis of phytoplankton and environmental variables in Swedish lakes. *Vegetatio* 71 : 87-95.
 8. Gauch, H.G. Jr. 1982. *Multivariate Analysis in Community Ecology*. Cambridge : Cambridge University Press.
 9. Gibson, D.J. and P. Greig-Smith. 1986. Community pattern analysis : A method for quantifying community mosaic structure. *Vegetatio* 66 : 41-46.
 10. Goodall, D.W. 1954. Objective methods for the classification of vegetation. III. An essay in the use of factor analysis. *Aust. J. Bot.* 2 : 304-324.
 11. Goodall, D.W. 1963. The continuum and the individualistic association. *Vegetatio* 11 : 297-316.
 12. Greig-Smith, P. 1983. *Quantitative plant ecology*. 3rd ed. Blackwell, Oxford.
 13. Hill, M.O. 1973. Reciprocal averaging : an eigenvector method of ordination. *J. Ecol.* 61 : 237-249.
 14. Hill, M.O. 1974. Correspondence analysis : A neglected multivariate method. *J. R. Stat. Soc. Ser. C.* 23 : 340-354.
 15. Hill, M.O. 1979. DECORANA-A FORTRAN Program for Detrended Correspondence Analysis and Reciprocal Averaging. Ithaca, N.Y. Cornell Univ. Press.
 16. Hill, M.O. and H.G. Jr. Gauch. 1980. Detrended Correspondence Analysis. an improved ordination technique. *Vegetatio* 42 : 47-58.
 17. Huang, C.L. and R. del Moral. 1988. Plant-environment relationships on the Montlake wildlife area, Seattle, Washington, USA. *Vegetatio* 75 : 103-113.
 18. Hukusima, T. and K.A. Kershaw. 1987. The impact on the Sejogahara ecosystem of extreme run-off events from the River Sakasagawa, Nikko, National Park. II. The correlation of vegetation and environmental disturbance using TWINSpan and DCA ordination techniques. *Ecol. Res.* 2 : 85-96.
 19. Lahti, T. and R.A. Väisänen. 1987. Ecological gradients of boreal forests in South Finland : an ordination test of Cajander's forest site type theory. *Vegetatio* 68 : 145-156.
 20. 李敦求. 1990. 國有林 經營 現代化 產學 協同 實演 研究 報告書. 山林廳.
 21. 李敦求. 1991. 國有林 經營 現代化 產學 協同 實演 研究 報告書(II). 山林廳.
 22. 李壽煜. 1981. 韓國의 森林 土壤에 關한 研究(II). 韓國林學會誌 54 : 25-35.
 23. Machena, C. 1987. Zonation of submerged macrophyte vegetation in Lake Kariba, Zimbabwe and its ecological interpretation. *Vegetatio* 73 : 111-119.
 24. Mueller-Dombois, D. and H. Ellenberg. 1974. *Aims and methods of vegetation ecology*. John Wiley & Sons, Inc.
 25. Peet, R.K. 1978. Latitudinal variation in southern Rocky Mountain forests. *J. Biogeogr.* 5 : 275-289.
 26. Peet, R.K. 1987. Forest vegetation of the Colorado Front Range : patterns of species diversity. *Vegetatio* 37 : 65-78.
 27. Skarpe, C. 1986. Plant community structure in relation to grazing and environmental changes along a north-south transect in the western Kalahari. *Vegetatio* 68 : 3-18.
 28. 宋鎬京. 1990. DCCA에 의한 鷄龍山과 德裕山の 森林群集과 環境의 相關關係 分析. 韓國林學會誌 79(2) : 216-221.
 29. 宋鎬京. 1990. DCCA에 의한 新갈나무群落과 環境의 相關關係 分析. 忠南大學校 環境研究報告 8 : 1-5.
 30. Ter Braak, C.J.F. 1986. Canonical correspondence analysis : a new eigenvector technique for multivariate direct gradient analysis. *Ecology* 67 : 1167-1179.
 31. Ter Braak, C.J.F. 1987. CANOCO-a FORTRAN program for canonical community ordination by [partial] [detrended] [canonical] correspondence analysis, principal components analysis and redundancy analysis(version 2.1). TNO Institute of Applied Computer Science, Statistics Department, Wageningen, The Netherlands.

32. Ter Braak, C.J.F. 1987. The analysis of vegetation-environment relationships by canonical correspondence analysis. *Vegetatio* 69 : 69-77.
33. The Braak, C.J.F. 1988. CANOCO-an extension of DECORANA to analyze species-environmental relationships. *Vegetatio* 75 : 159-160.
34. Ter Braak, C.J.F. and I.C. Prentice. 1988. A theory of gradient analysis. *Advances in Ecological Research* 18 : 271-317.
35. Walker, J. and R.K. Peet. 1983. Composition and species diversity of pine-wiregrass savanas of the Green Swamp, North Carolina. *Vegetatio* 55 : 163-179.
36. Whittaker, R.H. 1956. Vegetation of the Great Smoky Mountains. *Ecology Monogr.* 26 : 1-80.
37. Whittaker, R.H. 1967. Gradient analysis of vegetation. *Biol. Rev.* 42 : 207-264.
38. Whittaker, R.H. 1978. Direct gradient analysis. Pages 7-50 *in* Whittaker, R.H., ed. *Ordination of Plant Communities*, Handbook of Vegetation Science, No. 5. The Hague : Junk, 2nd ed.
39. Whittaker, R.J. 1987. An application of detrended correspondence analysis and non-metric multidimensional scaling to the identification and analysis of environmental factor complexes and vegetation structures. *J. Ecol.* 75 : 363-376.
40. Yim, Y.J. and S.D. Kim. 1983. Climate-diagram map of Korea. *Korean J. Ecology* 6 : 261-272.
41. 兪在殷·宋鎬京. 1989. Classification과 Ordination에 의한 俗離山 森林群集의 分析, 忠南大學校 環境研究報告 7 : 1-8.