

Ordination 方法에 의한 伽倻山 紅流洞溪谷의 植生群集에 관한 연구¹

趙在昌² · 李景宰³

Studies on the Vegetational Community of Hongrudong Valley in the Mt. Gaya by Ordination Techniques¹

Jae Chang Jo² · Kyong Jae Lee³

要 約

伽倻山 紅流洞溪谷의 植生群集構造分析을 위하여 11개 장소에 調査區를 설치하고 조사된 植生資料로서 3가지의 ordination 방법(polar, principal component analysis, reciprocal averaging)을 적용한 결과, 森林群集은 소나무群集과 갈참나무群集으로 구분되었다. 각 조사구마다 측정한 環境要素와 ordination 결과의 stand scores와의 相關分析에 의하면 소나무群集에서 갈참나무群集으로 이행할 수록 土壤 pH, 土壤有機物含量, 土壤含水量의 증가는 有意的인 關係가 성립되었다. 植生群集構造分析의 결과에 의하면 平均相對優占植에서 소나무와 참나무류간에는 負의 相關關係가, 소나무의 상대우점치와 種多樣度, 均在度간에도 負의 상관關係가 인정되었다. Ordination 방법중 reciprocal averaging 방법이 본 연구에서는 가장 효과적이었으며, RA방법에 의하여 추정된 遷移過程은 喬木層인 上層은 소나무→굴참나무→갈참나무 및 서어나무의 순이었고, 中層은 참싸리→옻나무류, 철쭉→쇠물푸레, 생강나무→참회나무, 병꽃나무, 작살나무의 순이었다.

ABSTRACT

This study was executed to analyze the vegetational community structure of the Hongrudong valley the Mt. Gaya by three kinds of ordination techniques(polar, principal component analysis, reciprocal averaging). Eleven sites were sampled with the clumped method to analyze the vegetation structure. The result suggested that Hongrudong valley forest was divided by *Pinus densiflora* and *Quercus aliena* community. The relation between stand scores of ordination and soil pH, humus content, soil moisture had a tendency to increase significantly from *P. densiflora* to *Q. aliena* community. RA was the most effective method of this study. RA ordination was showed that successional trends of tree species seem to be from *P. densiflora* through *Q. variabilis* to *Q. aliena*, *Carpinus laxiflora* in the upper layer and from *Lespedeza cyrtobotrya*, *Rhus* spp., *Rhododendron schlippenbachii* through *Fraxinus sieboldiana*, *Lindera obtusiloba* to *Euonymus oxyphyllus*, *Weigela subsessilis*, *Callicarpa japonica* in the middle layer.

Key words : vegetation structure ; ordination technique ; reciprocal averaging ; succession trend .

¹ 接受 1月 10日 Received on January 10, 1988

² 서울市立大學校 大學院 Graduate School, Seoul City Univ., Seoul, Korea

³ 서울市立大學校 文理科大學 College of Liberal Arts and Science, Seoul City Univ., Seoul, Korea

緒 論

生態的 遷移의 學說은 植生群集의 變化에는 일정한 방향성이 있어 예측이 가능하다는 有機體主義說^{1,9)}과 群集의 變化는 개체의 속성에 따라 이루어진다고 주장하여 極盛相으로의 일정한 방향성을 부정하는 個體主義說²¹⁾이 크게 대립되었으나, 차츰 두 學說이 상호보완되어 植生群集內에서 環境의 變化가 처음에는 群集에 영향을 미치나 어느 정도 均집이 안정되면 構成種에 의해 遷移가 進行된다는 學說이 대두되어 왔다²⁾. 근래는 이러한 植物遷移의 學說을 보편적으로 이용하고 있으며, 또한 植生群集의 構造를 생태적 천이설에 기초를 두고 파악하고 있다.

植生群集 構造分析에는 種組成에 중점을 두는 植物社會學的인 觀點인 分類의 接近法(classification approach)과 構成種 個體와 立地와의 關係에 중점을 두는 序列的 接近法(ordination approach)이 있다. 분류법은 定性的이고 주관적인 方法으로서 序列법의 예비단계로도 이용되고, 序列법은 環境勾配를 분석하고 이들 구배에 따라 植物群集을 배열하는 것으로 定量的이고 객관적인 식생분석방법인데, 多變量統計의 方法이 도입되자 ordination기법의 개발에 관심을 갖게 되었다^{5,21)}. 또한 컴퓨터의 발달로 복잡한 行列의 組合이 가능함에 따라 ordination 기법은 한층 발달하게 되었는데, ordination의 기법으로 대표적인 것은 polar(PO), principal component analysis(PCA), reciprocal averaging(RA)의 方法이다.

PO는 Bray & Curtis¹⁾에 의해 고안된 것으로 가장 相異한 群集을 兩軸(endpoint)에 배열하는 方法으로 環境勾配가 뚜렷할 때는 좋은 결과를 얻을 수 있다. PCA는 多變量統計에서 사용되는 것으로 植物社會學에는 Goodall¹³⁾에 의해 도입되었는데, PCA는 植生資料만으로도 객관적인 결과를 얻을 수 있으며, 線形關係를 응용한 方法⁸⁾으로 群集과 構成種까지도 ordination분석을 할 수 있다. RA는 Hirschfeld¹⁷⁾에 의해 개발된 方法을 Hill¹⁴⁾에 의해 植物社會學에 이용되었는데, 加重值를 부여하는 WA(weighted averages)와 PCA의 절충된 方法으로 PCA보다 우수하다¹²⁾. 이러한 方法 중 環境勾配에 따른 오차를 최소한으로 줄일 수 있는 方法으로 인정된 것이 RA¹²⁾이며, 최근에는 RA의 제 2축의 표현方法을 명료화한 detrended correspondence analysis(DCA) 方法을 이용하고 있다^{15,16)}.

우리나라에서도 植生群集의 生態的 遷移의 過程을 밝히기 위한 ordination 기법이 몇지역에 적용된 바, 光陵의 植生群集을 PO, PCA, RA 方法¹⁹⁾으로, 鷄龜山地域

을 RA 方法²⁵⁾으로 분석하였으나, 方法의 優劣은 판단되지 않았다. 이후 內藏山地域에서 金²⁰⁾은 PO 方法만으로 분석하였으나, 李와 趙²²⁾는 PO, PCA, RA 方法중 RA 方法이 가장 타당성이 있음을 보고하였다. 아직 우리나라에서는 ordination 方法에 의한 植生群集構造分析은 초기의 단계로서 DCA 方法의 효율성은 검증되지 않고 있어 앞으로 계속적인 연구가 필요하다.

伽倻山 紅流洞溪谷의 森林에는 아름다운 樹型을 갖고 있는 소나무순림이 국부적으로 존재하나, 溫帶林에서는 이런 소나무군집은 遷移系列上 초기단계로 궁극적으로는 極相林인 낙엽활엽수림으로 변화될 것이다³⁾. 그리하여 본 연구에서는 紅流洞溪谷의 소나무군집에 대하여 ordination 분석방법을 도입, 群集構造를 밝혀 遷移過程을 예측하는 것을 목적으로 하였다.

研究 方法

1. 調查地 概況

伽倻山國立公園은 동경 128°02'~128°08'과 북위 35°45'~35°50'에 위치하고 있으며, 慶北 星州郡과 高靈郡, 慶南 陝川郡에 걸쳐 자리잡고 있다. 이 중 본 연구 대상지인 紅流洞 溪谷은 慶南 陝川郡 伽倻面 紅流洞에 위치하며, 본 계곡은 국립공원입구에서 海印寺까지 약 4km가 되고, 伽倻山의 絕景中의 하나로 自然保全區域으로 지정되어 있다. 조사대상삼림은 계곡을 중심으로 서북쪽에서 동남쪽으로 분포하며 면적은 약 5.2km²이다. 계곡상류에는 갈참나무가 優占種인 群集으로 소나무는 거의 나타나지 않고, 하류쪽으로 내려갈수록 소나무가 優占種인 群集이 분포하였다.

2. 調查方法

(1) 調查區 設定

調查區는 그림 1과 같이 海印寺集團施設地區부터 국립공원입구까지 삼림내의 11개 장소에 설치하였다. 각 조사구에는 5개씩의 方形區(Quadrat)를 설치하였으며, 방형구크기는 上·中層 林木群은 10×10m, 下層 林木群은 5×5m로 하였는데, 상·중·하층의 구분은 樹冠이 上層空間을 형성하면 상층, 胸高直徑 2cm 이하를 하층, 상층과 하층의 사이를 중층으로 구분하였다. 본 조사는 '87년 7월에 실시되었다.

(2) 環境調查

環境要因으로는 方位, 海拔高, 土深, A層의 두께를 조사하였고, 土壤分析을 위하여 A층과 B층에서 0.5kg씩의 試料를 채취, 실험실로 옮겨 土壤含水量, 土壤酸度, 有機物含量을 Page²³⁾의 方法에 의해 측정하였다.

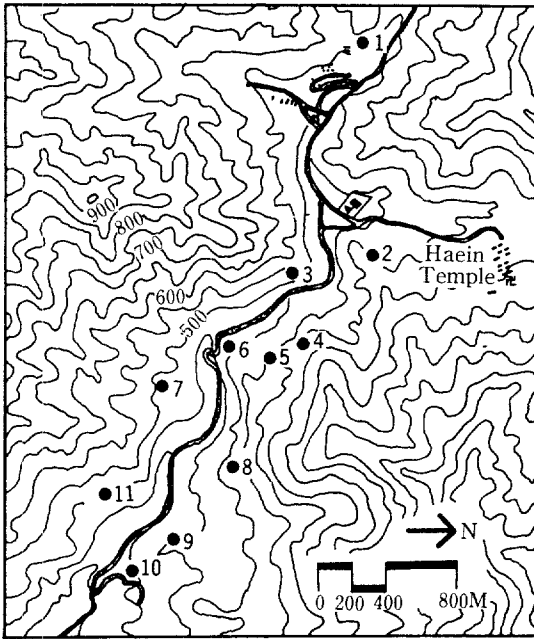


Fig. 1. Location of sampling sites in the Hongrmdong valley forest.

(3) 植生構造分析

植生調査를 위하여 조사구별로 每木調査를 실시하였는데 상·중층 수목은 樹種別로 胸高直徑(DBH)을, 하층수목은 樹冠投影面積을 측정하였다. 그리고 식생조사에서 얻은 자료를 Curtis & McIntosh⁷⁾방법에 따라 相對優占值(importance value : I.V.)를 계산하였다. 또한 種構成의 多樣性, 均在度, 優占度, 群集間 類似性을 산정하기 위하여 각 조사구의 個體數, 種數, 相對優占值를 기초로 하여 多樣性指數 및 類似度指數를 계산하였다²⁷⁾. 한편 각 조사구에 출현하는 種의 相關關係는 2×2분할표를 사용하여 구하였다.

Table 1. General description for each site.

Site(Vegetational community)	Aspects	Altitude (m)	Soil			
			Depth	pH	Humus (%)	Moisture (%)
1 (<i>Quercus aliena</i>)	NE	610	deep	5.16	14.88	23.69
2 (<i>Q. aliena</i> - <i>Carpinus cordata</i>)	N	600	deep	5.10	11.84	22.22
3 (<i>Pinus densiflora</i> - <i>Quercus</i>)	SE	520	deep	4.58	13.64	19.13
4 (<i>P. densiflora</i>)	S	530	medium	4.91	7.71	13.06
5 (<i>P. densiflora</i>)	SW	520	medium	4.96	7.55	10.46
6 (<i>P. densiflora</i>)	NW	490	shallow	5.00	6.34	10.38
7 (<i>P. densiflora</i>)	NE	440	deep	4.88	8.41	12.57
8 (<i>P. densiflora</i>)	NE	460	medium	4.98	6.38	13.68
9 (<i>P. densiflora</i>)	SW	410	shallow	4.85	8.43	10.19
10 (<i>P. densiflora</i>)	S	400	shallow	4.81	5.92	9.81
11 (<i>P. densiflora</i>)	NE	400	deep	4.80	9.16	14.27

(4) Ordination 分析

현지조사에서 얻은 식생자료로부터 ordination 분석에 필요한 각종의 합성치 Mean을 다음과 같이 구하였다¹⁰⁾.

$$Mean_{ij} = (RD_{ij} + RC_{ij}) / 2$$

여기서 RD는 조사구*i*에서 수종*j*의 相對被度를 뜻한다. 이 합성치를 각 조사구에 대한 ordination분석의 기초자료로 이용하였다. ordination분석은 polar, principal component analysis, reciprocal averaging의 방법을 이용하였는데, polar는 Bray & Curtis⁹⁾의 방법으로, principal component analysis는 variance-covariance matrix와 correlation coefficient matrix를 이용하였고^{10,11)}, reciprocal averaging은 Hill¹²⁾의 방법을 이용하였다. 이상의 모든 분석은 本大學 造景生態學研究室에서 개발한 Plant data analysis package (PDAP)와 SAS Package를 이용하였고, IBM-PC와 서울시립대학교 VAX780을 사용하였다.

結果 및 考察

1. 氣候 및 土壤特性

中央觀象臺 陝川分室에서 측정한 '72~'85년까지 14년간 氣象資料의 평균값에 의하면 年平均氣溫은 12.8°C인데 기상자료가 측정된 곳은 海拔高 40m로서 본 조사지 400~600m와는 360~570m의 차이가 있다. 허발고 100m 상승함에 따라 0.55°C의 온도가 낮아진다는 이론²⁸⁾을 적용하면 본 조사지의 연평균기온은 9.7~10.8°C의 범위로서 溫帶中부의 落葉闊葉樹林帶에 속하며, 乾燥地性 闊葉樹는 참나무류가 濕潤地性 闊葉樹는 서어나무가 나타날 수 있는 지역이다²⁹⁾. 年降水量은 1,296mm로 우리나라 평균치인 1,000~1,200mm보다 많은 편에 속하며,

溫度指數는 106.2°C이고 寒冷指數는 -13.8°C이었다.

표 1은 각 조사구의 일반적 개황을 나타낸 것이다. 土壤酸度는 전 조사구의 평균치가 4.92이었으며 대체로 소나무림지역인 곳에서 값이 낮았고 활엽수림지역에서 높았다. 土壤中有機物의 함량은 조사구 1, 2, 3에서 높았고 대체로 조사구 9, 10, 11로 갈수록 낮아졌으며 전 조사구의 평균값은 9.15%이었고, 조사구간 F檢定에서 有意的인 차이가 인정되었다. 土壤含水量도 F檢定에 의하면 土壤酸度 및 有機物含量과 마찬가지로 조사구간에는 有意的인 차이가 있었으며, 참나무류군집(조사구 1)에서 소나무류군집(조사구 9, 10)으로 갈수록 토양함수량이 낮아졌으며 평균치는 14.96%이었다.

한편 토양 산도, 유기물함량, 함수량의 값을 상호간 相關分析하였는데 유기물함량과 함수량의 相關係數는 0.907로 高度의 有意性(p>.01)을 나타냈다. 이것은 유기물함량이 대체로 소나무림에서 낮고 참나무림에서 높았는데, 참나무림의 낙엽층에 많이 포함된 유기물은 水分의 保持能力과 관련성이 있는 것과 맥락을 같이 하는 것이다. 또한 토양산도와 유기물함량과의 상관계수는 0.525로서 有意的인 相關關係(p>.05)가 인정되어 유기물함량이 낮은 소나무림의 토양의 산도는 낮아 酸性의 성질을 갖으며, 유기물함량이 높은 참나무림의 산도는 소나무림보다 높아 中性에 가까운 성질을 갖고 있었다.

2. 植生構造分析

(1) 種構成

표 2는 조사대상 전지역에 대한 相對優占值(importance value : I.V.)分析을 한 것으로 소나무의 IV가 42.70%로 제일 높아 紅流洞溪谷은 소나무優占種地域임을 알 수 있다. 다음 순서는 갈참나무 5.62%, 굴참나무 3.01% 개울나무 2.51%, 진달래 2.30%, 서어나무 2.21%로 소나무이외의 활엽수는 種間競爭이 시작된 遷移의 초기단계로 판단된다. 그러나 소나무와 경쟁관계에 있는 참나무류인 상수리나무, 굴참나무, 갈참나무, 신갈나무, 졸참나무들의 전체 IV는 12.09%로 그 세력이 확장되었음을 알 수 있다.

한편 각 조사구의 소나무 및 참나무류의 IV만을 나타낸 것이 표 3이다. 조사구 10에서 2까지의 배열순서는 소나무의 平均相對優占值(mean importance value : MIV)에 의한 것으로 그 값에 따라 4개의 群集으로 분류하였다. 군집 1(조사구 10, 8, 9, 6)의 소나무MIV는 64~76%로서 참나무류보다 세력이 강하여 앞으로 소나무優占種의 群集이 당분간 지속될 것이다. 군집 2(조사구 11, 7)의 소나무MIV는 47~50%이나 중·하층의 IV는 거의 0%로서 그 세력이 미약하고, 참나무류의 MIV

Table 2. Importance values of woody species in the Hongru valley forest.

Species	RD	RC	RF	IV
<i>Pinus koraiensis</i>	0.30	0.47	1.63	0.80
<i>Pinus densiflora</i>	42.99	79.05	4.07	42.70
<i>Betula schmidtii</i>	0.30	0.02	2.03	0.78
<i>Carpinus laxiflora</i>	2.47	0.50	3.66	2.21
<i>Corylus sieboldiana</i>	0.59	0.04	2.03	0.89
<i>Quercus acutissima</i>	0.30	0.05	1.22	0.52
<i>Quercus variabilis</i>	3.11	2.26	3.66	3.01
<i>Quercus aliena</i>	3.21	9.58	4.07	5.62
<i>Quercus mongolica</i>	2.07	0.45	2.85	1.79
<i>Quercus serrata</i>	0.94	0.08	2.44	1.15
<i>Lindera obtusiloba</i>	2.12	0.09	3.66	1.96
<i>Malus sieboldii</i>	0.05	0.00	0.41	0.15
<i>Sorbus alnifolia</i>	0.59	0.23	2.85	1.22
<i>Prunus sargentii</i>	0.40	0.01	2.44	0.95
<i>Lespedeza maximowiczii</i>	1.48	0.03	2.44	1.32
<i>Lespedeza bicolor</i>	0.84	0.03	2.85	1.24
<i>Rhus japonica</i>	0.74	0.87	1.22	0.94
<i>Rhus trichocarpa</i>	3.25	0.21	4.07	2.51
<i>Rhus verniciflua</i>	2.42	0.17	2.03	1.54
<i>Euonymus oxyphyllus</i>	0.30	0.03	1.22	0.52
<i>Euonymus sieboldianus</i>	0.05	0.00	0.41	0.15
<i>Acer palmatum</i>	2.91	0.46	2.44	1.94
<i>Stewartia koreana</i>	1.24	0.15	2.44	1.28
<i>Cornus controversa</i>	0.59	0.11	2.03	0.91
<i>Rhododendron mucronulatum</i>	3.95	0.10	2.85	2.30
<i>Rhododendron schlippenbachii</i>	2.22	0.06	2.03	1.44
<i>Symplocos chinensis</i> for. <i>pilosa</i>	1.19	0.04	3.25	1.49
<i>Styrax obassia</i>	1.83	0.37	3.66	1.95
<i>Fraxinus rhynchophylla</i>	0.64	0.21	2.03	0.96
<i>Fraxinus sieboldiana</i>	3.61	0.12	2.85	2.19
<i>Callicarpa japonica</i>	0.89	0.05	1.63	0.86

도 4%미만이지만 울나무류, 진달래, 쇠물푸레, 생강나무 등의 MIV가 높다. 이것은 極陽性 針葉樹인 소나무에서 陽性 闊葉樹로의 遷移의 초기단계로서 인간의 간섭이 없다면 앞으로 소나무의 椎樹發生은 불가능하여질 것이다. 군집 3(조사구 5, 4)의 소나무MIV는 37~43%로 참나무류의 MIV보다 높으나 모든 層位에서 소나무의 경쟁종으로 참나무류가 생육하고 있는데, 이는 소나무의 他感作用(allelopathy)이 약화되어 참나무로의 遷移가 진행됨을 보여 주는 것이다. 군집 4(조사구 3, 1, 2)의 소나무MIV는 0~19%로 참나무류보다 훨씬 뒤지고 있어 소나무가 이미 副樹種(minor species)으로 밀려났으며, 특히 조사구 2에서는 서어나무MIV가 9.9%나 되어 소나무→참나무류→서어나무의 陰性闊葉樹의 단계까지 천이가 진행되었다. 紅流洞溪谷 森林의 중·하층에서 소나무가 생육하기 어려운 것은 소나무의 上層密度가 높아 하층에 移入되는 광량이 부족하여 소나무의 종자는 發芽가 안되고 활엽수의 종자만이 發芽, 生育되는데 활엽수의 낙엽층에는 Ca, P등이 많이 함유되어³⁾ 토양의 산도를 높혀 결국은 소나무의 他感作用을 약화시켰기 때문이다. 그러므로 현재의 소나무림은 점진

Table 3. Importance value of *Pinus densiflora* and *Quercus* spp. for each site.

Community No.	Site No.	<i>Pinus densiflora</i>				<i>Quercus</i> spp.			
		Upper	Middle	Lower	Mean	Upper	Middle	Lower	Mean
1	10	91.05	67.09	47.50	75.80	0	6.83	11.88	4.26
	8	100.00	55.96	29.97	73.65	0	9.14	10.01	4.71
	9	100.00	50.10	5.96	67.69	0	5.86	16.26	4.66
	6	100.00	32.54	16.37	63.57	0	12.26	8.89	5.54
2	11	100.00	0	0.80	50.13	0	9.49	1.61	3.43
	7	93.48	0	0	46.74	0	7.56	5.55	3.61
3	5	59.20	39.18	0.65	42.77	21.37	19.04	8.28	15.09
	4	45.40	42.66	0.51	37.00	20.67	16.91	8.60	17.41
4	3	38.15	0	0	19.07	58.00	20.66	4.23	39.92
	1	6.49	0	0	3.24	50.66	1.30	2.06	26.11
	2	0	0	0	0	71.46	21.87	4.34	43.74

적으로 활엽수로 변화하는 천이를 예상할 수 있다.

그림 2는 소나무MIV를 종속변수(X), 참나무류의 값을 독립변수(Y)로 하였을 때의 회귀關係를 보인 것이다. 相關係數(r)는 -0.878로서 1%의 高度의 有意性이 인정되어 소나무MIV의 증감은 참나무류의 값과 負의 關係임을 알 수 있다. 回歸式은 $Y = 75.2679 - 2.9824X + 0.0319X^2$ 이고 決定係數(R^2)가 0.90의 높은 값을 나타냈다.

(2) 種多樣性

조사구별 種多樣指數는 표4와 같은데 소나무MIV 순서에 따라 조사구를 배열한 것이다. 소나무MIV가 감소함에 따라 種多樣度(species diversity ; H')는 증가하였다. 이것은 소나무순림은 소나무의 타감작용으로 다른 종들의 생육을 억제하여 종이 단순하였던 구조가 활엽수들이 이입되어 타감작용이 약화되자 종이 多樣化되었기 때문이다. 한편 조사구2에서는 조사구1보다 종 다양도가 감소하는데 生物群集에서 천이가 진행되어 極

相段階에 들어서면 안정화되어 종다양도가 차츰 낮아진다는 설³⁾과 부합된다고 판단된다.

소나무순림에서는 均在度의 逆의 수치인 우점도가 높아 소나무에 세력이 집중되어 있음을 알 수 있고, 소나무가 출현하지 않는 조사구2에서는 우점도가 0.1513으로 우점성이 여러 수종으로 분산되어 있었다. 표5는 소나무 및 참나무류MIV와 多樣度指數間의 相關關係를 보여준다. 소나무MIV와 種多樣度(H'), 均在度(J')간에는 각각 高度의 負의 相關이 인정되어 인정되어 소나무MIV감소에 따라 종이 多樣化함을 알 수 있다. 종다양도(Y_1)와 소나무MIV

Table 4. Values of various diversity indices of woody species for each site.

Site No.	H'(Shannon)	J'(evenness)	D(dominance)	H'max
10	0.5704	0.3861	0.6139	1.4771
8	0.9263	0.6211	0.3789	1.4914
9	1.0844	0.6724	0.3276	1.6128
6	0.9925	0.6594	0.3406	1.5051
11	1.3663	0.8002	0.1998	1.7076
7	1.1812	0.7713	0.2287	1.5315
5	1.3845	0.8326	0.1674	1.6628
4	1.0750	0.6907	0.3093	1.5563
3	1.3328	0.8436	0.1564	1.5798
1	1.3687	0.8279	0.1721	1.6532
2	1.3208	0.8487	0.1513	1.5563

Table 5. Correlation of various diversity indices of woody species.

	<i>Pinus</i>	<i>Quercus</i> ²	H'	J'	D
<i>Quercus</i>	-.880**				
H'	-.729*	.518			
J'	-.761**	.578	.984**		
D	.761**	-.578	-.984**	-1.000	
H'max	-.483	.290	.483	0.456	-.456

¹ MIV of *Pinus densiflora*

² MIV of *Quercus* Spp

** significant at 1% level

* significant at 5% level

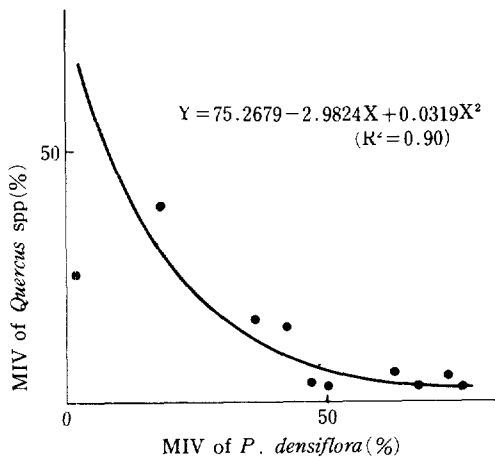


Fig. 2. Regression curve of MIV of *Pinus densiflora* and *Quercus* spp.

(X)간에는 回歸式인 $Y_1 = 1.30674 + 0.00698X - 0.00183x^2$ 의 관계가 성립되었고 R^2 는 0.845의 높은 값이었다. 또한 均제도(Y_2)와 소나무MIV(X)간에도 $Y_2 = 0.82294 + 0.00331X - 0.000096X^2$ ($R^2 = 0.863$)의 관계가 성립되었다. 優占度(D)는 均在도와 逆의 관계이므로 소나무MIV와 均점도간에는 正의 相關性에서 高度의 有意性이 인정되어 소나무세력이 감소함에 따라 群集의 優占도가 감소하였다. 참나무류MIV와 多樣度指數間에는 상관계수가 인정되지 않았고, 種多樣도와 均在度間에는 高度의 正의 相關性이, 種多樣도와 優占度間에는 高度의 負의 相關性이 인정되었다.

(3) 群集間 類似性

類似度指數(similarity index; SI)는 群集間의 種組成의 차이점을 알기 위한 방법으로 Jaccard¹⁸⁾에 의해 연구가 시작되어, 分類法과 ordination 등에 이용되고 있다. 표6에서 소나무MIV가 가장 큰 조사구10을 기준으

Table 6. Similarity index between vegetational communities.

site	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
2	58.79									
3	37.13	36.76								
4	19.96	13.43	48.75							
5	23.50	15.93	51.09	66.26						
6	14.45	8.22	41.54	54.61	62.91					
7	15.53	8.52	46.61	55.07	67.41	71.19				
8	10.91	5.74	34.81	52.72	59.64	77.38	60.87			
9	12.06	7.46	31.78	50.34	58.93	75.04	58.77	80.35		
10	7.79	2.96	31.96	49.34	54.71	72.54	53.78	85.57	80.42	
11	17.72	10.71	37.61	55.12	61.85	65.03	65.67	65.72	67.51	59.82

로 할 때 조사구1과는 7.79%로 가장 낮은 값이던 것이 조사구9로 접근할 수록 증가하였다. Cox⁶⁾는 조사구간에 20%미만의 값일때는 서로 異質의인 집단이고, 80% 이상일때는 서로 同質的인 집단이라고 하였는데, 본 연구에서는 조사구10이 조사구 1, 2와는 이질적인 군집이고, 조사구8, 9와는 동질적인 군집으로 판단되는 바 이것은 소나무MIV의 차이에 따른 경향과 일치한다. 그러므로 조사구2와 10은 紅流洞溪谷에서 遷移系列上 가장 멀리 떨어진 집단이라 할 수 있다. 표에서 대각선방향으로는 대체로 높은 값을 보이는 것은 인접된 조사구간은 서로 유사한 種組成을 가지고 있어 천이계열상 연결되어 있는 것으로 판단된다.

(4) 種의 相關性

표7은 相對優占值을 이용, 相關分析을 한 것인데 전체조사구에서 偶然出現에 의하여 상관계수가 높게 나올 수 있는 2개이하의 出現頻度を 갖는 종은 제외하였다. ++, --는 $p > .01$ 수준에서 +, -는 $p > .05$ 수준에서 有意性이 인정된 수종이다. 소나무와 갈참나무간에는 高度의 負의 相關關係를 보여, 두 수종은 이질적

인 地位(niche)를 갖고 있는 것으로 판단된다. 그 밖에 노린재나무, 작살나무, 서어나무, 팔배나무, 개암나무류, 단풍나무 등은 소나무와는 負의 상관계수가, 갈참나무와는 正의 상관계수가 인정되어, 갈참나무와 이들 수종간은 같은 지위를 갖는다고 설명할 수 있겠다. 신갈나무, 상수리나무, 졸참나무도 소나무와 正의 상관계수가 인정되지 않아 같은 지위에 존재할 수 없음을 알 수 있다. 이상의 相關性으로 판단할 때 樞紐種계곡의 삼림은 크게 갈참나무群集과 소나무群集으로 나눌 수 있겠다.

3. Ordination 分析

11개 조사구에서 출현한 수종은 총 65종인데 이것으로 original data matrix를 작성하였고 다시 出現頻도가 3회이상인 34종만으로 최종 data matrix를 작성하였다. 여기에서는 相對頻도가 제외된 相對被度 및 相對密度에 의한 相對優占值가 산정된 것이나 상대빈도까지 함께 계산한 전체조사구의 MIV와 일치하였다.

먼저 RA(reciprocal averaging)을 실시하여 조사구 및 종의 분포를 확인하였는데, data matrix는 octave scales, square root, $\log_{10}(x+1)$, presence/absence, Braun-Blanquet방법으로 변형하여 전체변이를 비교하였으나 원자료의 變異가 73.68%로 높아 모든 분석은 자료를 변형하지않은 원래의 data matrix 자체를 이용하였다. 일반적으로 RA를 분석한 후 다른 방법에 의한 분석자료와 비교하여 適合性を 검토하게 된다¹⁰⁾.

그림3은 여러 ordination방법에 의해 분석한 결과를 제1축과 2축에 나타낸 것이다. 먼저 RA의 결과를 보면 제1축에서 조사구 1, 2가 오른쪽으로, 조사구 9, 10은 왼쪽으로 분리되어 있다. 조사구 1, 2는 참나무류의 MIV가 큰 갈참나무群集이고, 조사구 9, 10은 소나무의 MIV가 큰 소나무群集인 것이다. 특히 조사구2와 10은 兩極으로 완전 분리되었는데 소나무MIV로 비교하면 조사구2는 0%, 조사구10은 75.80%이다. 한편 non-PCA, cen-PCA, s&c-PCA, PO의 ordination 분석결과도 비슷한 양상을 보이는데, c&s-PCA兩極이 다른 것은 가장 높은 평균치를 변형시킨 결과에 의한 것이다. PCA는 축1과 2의 대각선에 조사구들이 분포되어 있고 c&s-PCA는 RA보다 더 균등하게 분포하였다.

우리나라에서의 ordination 방법을 이용한 群集構造의 내용중 光陸은 PO, RA, c&s-PCA방법이 효과적이었고¹⁹⁾, 鷄龜山地域에서는 RA방법²⁵⁾이, 內藏山에서는 RA방법²²⁾이 효과적이었으며, 이들 세지역에서 소나무 군집과 활엽수군집이 분리됨이 보고되었다. 외국에서 종전까지는 RA방법이 가장 효과적이었으나^{12,14)}, 요즘은 이를 개선한 DCA 방법¹⁵⁾을 많이 이용하고 있으므로

Table 7. Correlation tables for species with mean values.

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	
1	.																											
2	.	.																										
3	..	.	.																						
4	.	.	.	.																				
5	.	.	.	.	.																		
6	.	.	.	.	.	.																
7	.	.	.	.	.	.	.														
8	.	.	.	.	.	.	.	.												
9	.	.	.	.	.	.	.	.	.										
10	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..
11	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..
12	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
13	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
14	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
15	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
16	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..
17	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
18	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..
19	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
20	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
21	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..
22	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
23	.	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..
24	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
25	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
26	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
27	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.

* 2-tailed signif. : -, + : 5%. --, ++ : 1% level

- | | | | |
|-------------------------------|-------------------------------|-------------------------------|--|
| 1 <i>Pinus densiflora</i> | 8 <i>Cornus controversa</i> | 15 <i>Malus sieboldii</i> | 22 <i>Lindera obtusiloba</i> |
| 2 <i>Pinus koraiensis</i> | 9 <i>Styrax obassia</i> | 16 <i>Sorbus alnifolia</i> | 23 <i>Weigela subsessilis</i> |
| 3 <i>Quercus aliena</i> | 10 <i>Callicarpa japonica</i> | 17 <i>Euonymus oxyphyllus</i> | 24 <i>Lespedeza maximowiczii</i> |
| 4 <i>Quercus variabilis</i> | 11 <i>Carpinus laxiflora</i> | 18 <i>Corylus sieboldiana</i> | 25 <i>Lespedeza bicolor</i> |
| 5 <i>Quercus serrata</i> | 12 <i>Betula schmidtii</i> | 19 <i>Rhus trichocarpa</i> | 26 <i>Rhododendron mucronulatum</i> |
| 6 <i>Fraxinus sieboldiana</i> | 13 <i>Stewartia koreana</i> | 20 <i>Rhus verniciflua</i> | 27 <i>Rhododendron schlippenbachii</i> |
| 7 <i>Fraxinus sieboldiana</i> | 14 <i>Prunus sargentii</i> | 21 <i>Acer palmatum</i> | |

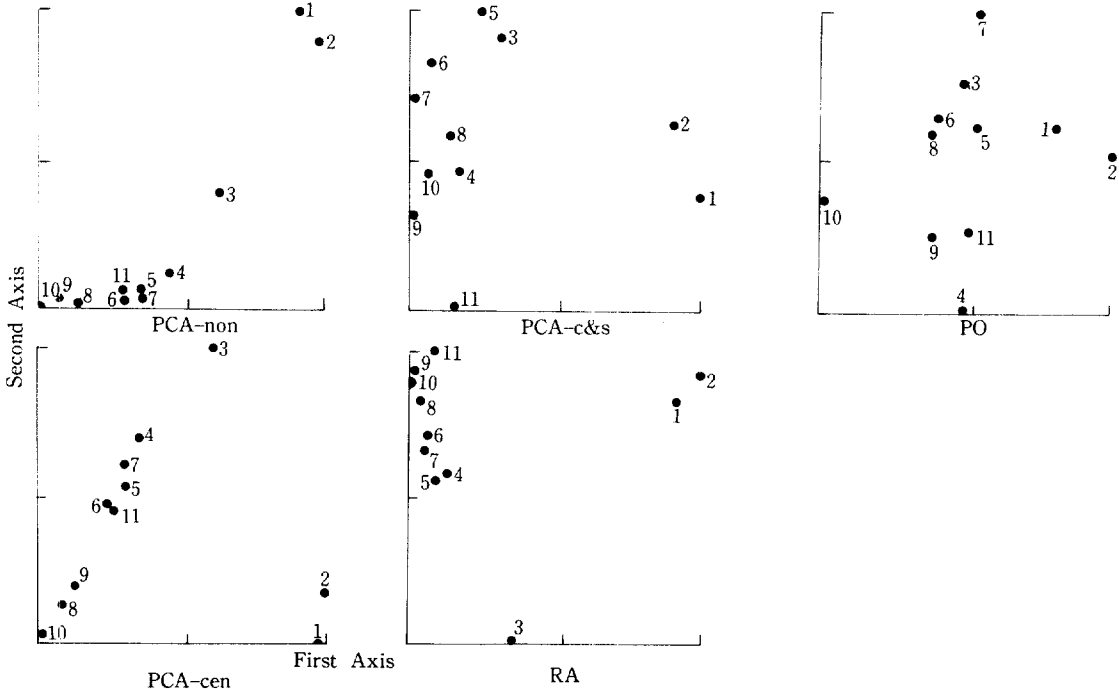


Fig. 3. PCA, PO and RA ordination of 11 sites.

로 우리나라에서도 계속 연구할 과제이다.

Ordination 분석은 植生の 변이간의 설명뿐만 아니라 環境의인 因子와도 결부시킬 수 있다²⁴⁾. 이러한 환경인자와 식생의 변이에 대한 분석에는 통계적인 방법으로 해석될 수 있으나 식생은 자신의 地位(niche)를 가지기 때문에 Gaussian 분포를 하여 적절하지 못하므로 環境要因을 흔히 5단계로 나누어 분석하여 결점을 보완하게 된다¹¹⁾.

그림4는 조사된 환경요인을 5단계로(표8) 나누어 최초의 1, 2축에 표시하였고, 각 환경요인의 ordination의 축1과 2의 scores와 환경요인과의 상관분석을 하여 표9에 나타냈다. 그림4와 같이 환경요인을 RA방법에 의해

Table 8. Ratings of representing ranges of environmental variables.

Class	pH	Humus(%)	Moisture (%)
1	> 4.80	> 6.36	> 10.27
2	4.80-4.87	6.36- 7.68	10.27-12.15
3	4.87-4.96	7.68- 8.58	12.15-13.80
4	4.96-5.06	8.58-12.92	13.80-20.98
5	5.06>	12.92>	20.98>

나타낸 결과, 조사구가 완전 분리되었는데 이것은 소나무림에서 소나무-참나무림, 갈참나무림으로 갈수록 土壤水分, 酸度, 有機物含量이 증가함을 보이는 것으로 姜¹⁹⁾, Peet & Loucks²⁴⁾의 결과와 일치한다.

표9에서 보이듯이 모든 ordination 방법간에 높은 상관관계가 인정되었다. 즉 토양산도는 제1축과의 관계에서 c&s-PCA에서는 가장 높은 0.849의 상관계수를 나타내고 또한 다른 방법에서도 相關性이 인정되었으나 제2축에서는 non-PCA만이 상관관계가 인정되었는데, 유기물함량과 토양함수량에서도 이러한 경향을 보였다. 그림5는 RA방법에 의한 種의 ordination 결과인데, 이것으로 추정되는 遷移를 밝힌 것이 표10이다. 표에서 보이듯이 홍류동계곡삼림의 上層은 소나무군집→갈참나무가 우점종인 참나무림군집→갈참나무 및 서어나무군집으로의 遷移過程이 진행중인 遷移의 初期段階로 판단된다. 앞으로 遷移가 더욱 발전되면 갈참나무의 분포면적이 더욱 확대되고 종곡에는 極相樹種인 서어나무群集으로 향할 것이라는 가설을 제시할 수 있다. 물론 이런 가설은 植生群集이 氣候의인 要因에 영향을 받으며, 土壤 및 山火등의 物理的인 要因에 의한 영향이 기후인자의 영향을 방해하지 않을 때에 성립될 것이다.

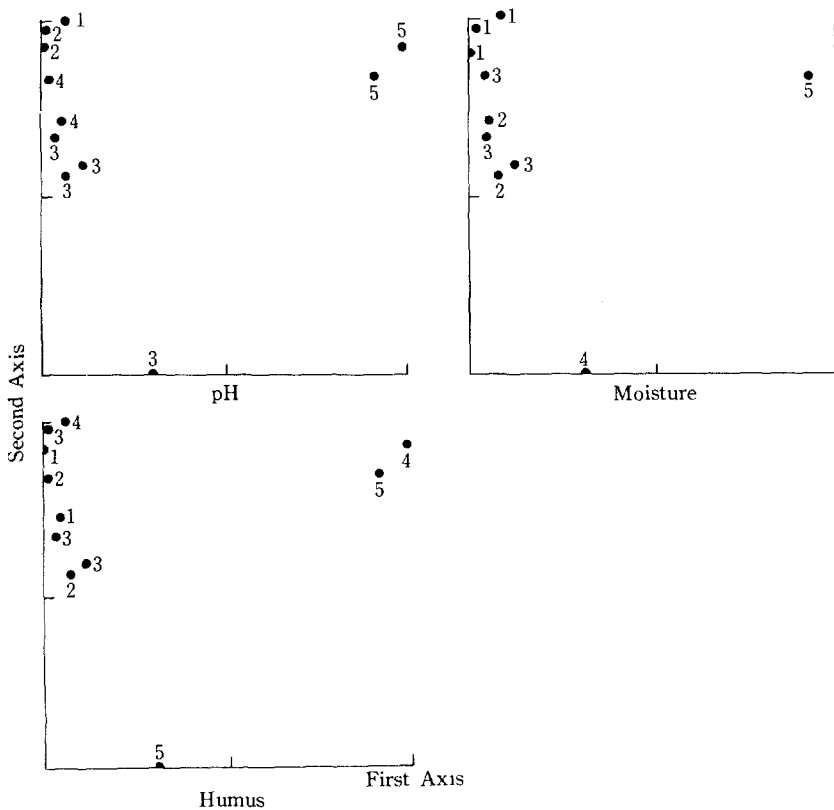


Fig. 4. Distribution of environmental factors on RA ordination.

Table 9. Correlation coefficient between 3 environmental variables and the stand scores axis 1 and axis 2.

	Stand scores of axis 1					Stand scores of axis 2				
	RA	PO	cen-PCA	c&s-PCA	non-PCA	RA	PO	cen-PCA	c&s-PCA	non-PCA
pH	.805**	.707**	.767**	.849**	.741**	-.051	.297	-.303	-.279	.807**
Humus	.804**	.696**	.867**	.782**	.857**	-.318	.244	.089	.090	.854**
Moisture	.921**	.891**	.923**	.908**	.902**	-.150	.209	-.093	-.070	.941**

** significant at 1% level
 * significant at 5% level

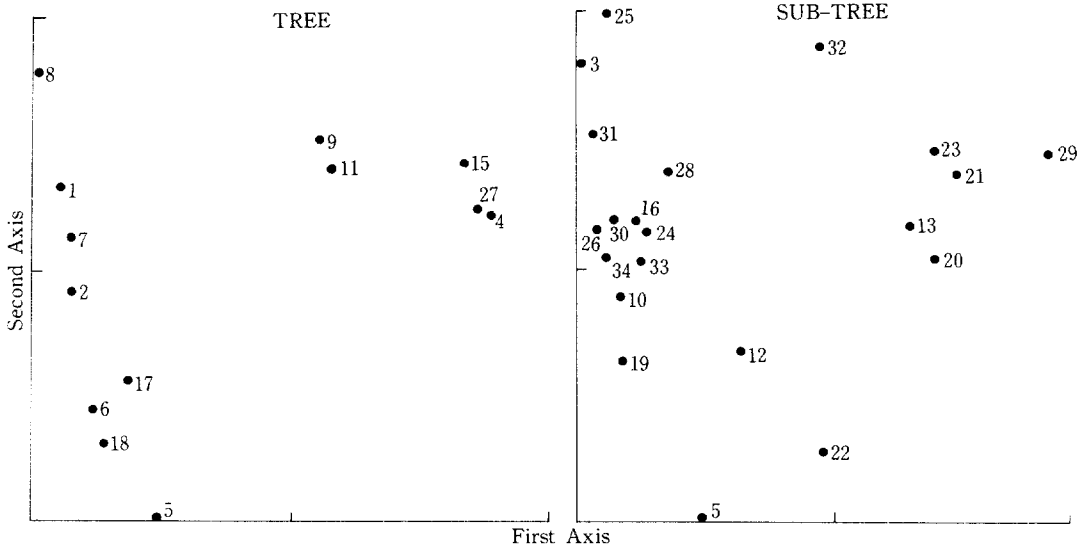


Fig. 5. RA ordination of woody species based on 11 sites.

- | | | | |
|---------------------------------|-------------------------------|-------------------------------|--|
| 1 <i>Pinus densiflora</i> | 8 <i>Cornus controversa</i> | 15 <i>Malus sieboldii</i> | 22 <i>Lindera obtusiloba</i> |
| 2 <i>Pinus koraiensis</i> | 9 <i>Styrax obassia</i> | 16 <i>Sorbus alnifolia</i> | 23 <i>Weigela subsessilis</i> |
| 3 <i>Quercus aliena</i> | 10 <i>Callicarpa japonica</i> | 17 <i>Euonymus oxyphyllus</i> | 24 <i>Lеспедеза maximowiczii</i> |
| 4 <i>Quercus variabilis</i> | 11 <i>Carpinus laxiflora</i> | 18 <i>Corylus sieboldiana</i> | 25 <i>Lеспедеза bicolor</i> |
| 5 <i>Quercus serrata</i> | 12 <i>Betula schmidtii</i> | 19 <i>Rhus trichocarpa</i> | 26 <i>Rhododendron mucronulatum</i> |
| 6 <i>Fraxinus rhynchophylla</i> | 13 <i>Stewartia koreana</i> | 20 <i>Rhus verniciflua</i> | 27 <i>Rhododendron schlippenbachii</i> |
| 7 <i>Fraxinus sieboldiana</i> | 14 <i>Prunus sargentii</i> | 21 <i>Acer palmatum</i> | |

Table 10. Succession trends of vegetational communities in the Hongru valley.

Tree	Sub-tree
<i>Pinus densiflora</i>	<i>Lespedeza cyrtobotrya</i>
<i>Quercus serrata</i>	<i>Rhus trichocarpa</i>
<i>Q. acutissima</i>	<i>R. japonica</i>
<i>Q. mongolia</i>	<i>Rhododendron schlippenbachii</i>
<i>Q. variabilis</i>	<i>Distylium racemosum</i>
<i>Q. aliena</i>	<i>Fraxinus sieboldiana</i>
<i>Carpinus laxiflora</i>	<i>Lindera obtusiloba</i>
	<i>Euonymus sieboldianus</i>
	<i>Symplocos chinensis for. pilosa</i>
	<i>Corylus sieboldiana</i>
	<i>Euonymus oxyphyllus</i>
	<i>Weigela subsessilis</i>
	<i>Callicarpa japonica</i>

中層에서는 참싸리→웃나무류, 철쭉→쇠물푸레, 생강나무→참회나무, 병꽃나무, 작살나무 등으로 遷移가 진행중인데, 이는 酸性土壤을 좋아하는 수종이 소나무와 같은 niche에 존재하다가 소나무의 세력이 감퇴되고 활엽수의 세력이 증가함에 따라 中性내지 알카리성토양을 즐기는 수종으로 遷移가 移行되었음을 알 수 있으며, 이는 丙藏山에서의 연구결과²²⁾와도 일치한다.

引用文獻

1. Bray, J.R. and J.T. Curtis. 1957. An ordination of the upland forest communities of Southern Wisconsin. Ecol. Monogr. 27 : 325-349.
2. Burgess, R.L. and D.M. Sharpe. 1981. Forest

- island dynamics in man-dominated landscapes. Springer-Verlag. N.Y. 310pp.
3. 崔基哲. 1983. 基礎生態學. 鄉文社. 251pp.
 4. Clements, F.E. 1916. Plant succession: Analysis of the development of vegetation. Pub. Carnegi Instn. 242pp. (cited by Krebs, C.J. 1972.)
 5. Connell, J.H. and E. Orias. 1964. The ecological regulation of species diversity. *Nature* 98: 399-414.
 6. Cox, G.W. 1972. Laboratory manual of general ecology. Wm. C. Brown Co. 232pp.
 7. Curtis, J.J. and R.P. McIntosh. 1951. An upland forest continuum in the prairie-forest border region Wisconsin. *Ecology* 32: 476-496.
 8. Dillon, W.R. 1984. Multivariate analysis. John Wiley & Sons. 587pp.
 9. Drury, W.H. and I.C.T. Nisbet. 1973. Succession. *J. Arnold Arbor.* 54: 331-368. (cited by Krebs, C.J. 1972.)
 10. Gauch, H.G. 1977. Ordiflex-A flexible computer program for four ordination techniques: weighted averages, polar ordination, principal components analysis and reciprocal averaging. Release B. Cornell Univ. N.Y. 185 pp.
 11. Gauch, H.G. 1982. Multivariate analysis in community ecology. Cambridge Univ. Press. 298pp.
 12. Gauch, H.G., R.H. Whittaker and T.R. Wentworth. 1977. A comparative study of reciprocal averaging and other ordination techniques. *J. Ecol.* 65: 157-174.
 13. Goodall, D.W. 1953. Objective methods for the classification of vegetation. I. The use of positive interspecific correlation. *Australian J. of Botany* 1: 39-63. (cited by Gauch, H.G. 1982.)
 14. Hill, M.O. 1973. Reciprocal averaging: An eigenvector method of ordination. *J. Ecol.* 61: 237-249.
 15. Hill, M.O. 1979. DECORANA-A FORTRAN program for detrended correspondence analysis and reciprocal averaging. Cornell Univ. N.Y. 52pp.
 16. Hill, M.O. 1979. TWINSPAN-A FORTRAN program for arranging multivariate data in an ordered two-way table by classification of the individuals and attributes. Cornell Univ. N.Y. 5pp.
 17. Hirschfeld, H.O. 1935. A connection between correlation and contingency. *Proc. Cambridge Philosophical Society* 1: 520-524 (cited by Gauch, H.G. 1982.)
 18. Jaccard, P. 1912. The distribution of the flora in the alpine zone. *New Phytol.* 11: 37-50. (cited by Krebs, C.J. 1972.)
 19. 姜倫淳, 吳桂七. 1982. 光陸森林群集에 대한 ordination 方法의 適用. *韓國植物學會誌.* 25(2): 83-100.
 20. 金正彦. 1987. 分類法과 序列法에 의한 內藏山森林 植生 研究. 中央大學校 博士學位論文. 123pp.
 21. Krebs, C.J. 1972. *Ecology: The experimental analysis of distribution and abundance.* Harper & Row. N.Y. 800pp.
 22. 李景宰, 趙在昌. 1987. 內藏山國立公園 內藏寺地區의 自然保全管理對策에 관한 연구. 서울시立大學校. 100pp.
 23. Page, A.S. ed. 1982. *Methods of soil analysis.* ASA and SSSA. pp. 225-262.
 24. Peet, R.K. and L. Loucks. 1977. A gradient analysis of southern Wisconsin forests. *Ecology* 58: 485-499.
 25. 宋鎬京, 辛昌男. 1985. 鷄龜山森林群集型과 그의 構造에 관한 연구. 忠南大學校 環境研究報告書. 3(1): 19-58.
 26. Whittaker, R.H. 1956. Vegetation of the Great Smoky Mountains. *Ecol. Monographs.* 26: 1-80.
 27. 任慶彬, 朴仁協, 李景宰. 1980. 京畿道地方 松林의 植物社會學的 研究. *韓林誌.* 50: 56-71.4
 28. Yim, Y.J. 1977. Distribution of forest vegetation and climate in the Korean Peninsular III. Distribution of tree species along the thermal gradient. *Jap. J. Ecol.* 27: 177-189.