

인간간섭에 따른 세포성 점균의 출현과 분포 및 온도가 자실체 형성에 미치는 영향

이 정 은 · 장 남 기

서울대학교 사범대학 생물교육과

Human Impact on the Occurrence and Distribution of Cellular Slime Molds, and the Effect of Temperature on Fructification

Lee, Jong-Eun and Nam-Kee Chang

Dept. of Biology Education, Seoul National University

ABSTRACT

In order to elucidate the human impact on the distribution of cellular slime molds, samples were collected from 3 types of forest; natural forests(Mt. Deogyu and Mt. Tsukuba), semi-natural forests(Seoul Great Zoo and Tama Zoo), artificial forests(Seoul National University and Tokyo Gakugei University).

The distribution of cellular slime molds in mountains was different from that of zoo and universities. In mountains, endemic species was occurred and species diversity was higher than in zoo and universities. In zoo and universities disturbed by human, *Dictyostelium sphaerocephalum* was occurred with higher importance value than in mountains.

6 species were selected to investigate the effect of temperature on fructification; *Polysphondylium candidum*, *D. delicatum*, *D. firmibasis*, *D. sphaerocephalum*, *P. violaceum*, *D. purpureum*. *P. violaceum* and *D. purpureum* had an optimum temperature for fructification around 25~30°C, but the others around 22~23°C. The degree of sensitivity to temperature was as follows; *P. candidum* > *D. delicatum* > *D. firmibasis* > *D. sphaerocephalum* > *P. violaceum* > *D. purpureum*.

Key words: Human impact, Cellular slime molds, Occurrence and distribution, Fructification, *Dictyostelium delicatum*, *Dictyostelium sphaerocephalum*.

서 론

환경문제가 심각하게 대두됨에 따라 '생물 다양성'의 중요성에 대한 인식이 점점 높아져 가고 있다. 생물 다양성을 보존하기 위하여서는 척추동물과 유관속식물같이 눈에 보이는 한 종 한 종

을 보존하는 차원이 아니라 생태계적인 접근이 필요한데(Wilson, 1986), 무척추동물, 균류, 박테리아와 같은 작은 크기의 생물들이 분해작용이나 영양소의 합성과 같은 필수적인 기능들을 생태계 내에서 담당하는 것을 고려할 때, 종 다양성에서 그들이 차지하는 의미는 대단히 크다고 할 수 있다(Franklin, 1993). 이런 의미에서 세포성 점균류도 새롭게 해석되어질 필요가 있다. 비록 세포성 점균류의 생태적인 지위가 아직 명확히 밝혀지지는 않았다고 하더라도 삼림식생과 고도, 여러 환경에 따른 생태적 조사가 계속되고 있으며, 식생과 세포성 점균의 종 다양성이 밀접한 관련이 있음은 이미 여러 연구에서 밝혀진 바이다(Cavender와 Raper, 1965b, c, 1968; Traub 등, 1981). 또한, Kuserk(1980)이 삼림에서 행한 정량적 연구에서 세포성 점균의 분포양상이 토양 박테리아의 수와 종류에 밀접히 관련되어 있음을 밝혀내었다.

현재까지 약 60여종이라는 비교적 적은 종만이 밝혀져 있지만, 그 분포면에서 볼 때 열대와 아열대 지역에서부터(Raper, 1935; Singh, 1947; Cavender와 Raper, 1965a; Cavender, 1970, 1973, 1976a, b), 중미(Benson과 Mahoney, 1977; Cavender, 1980), 남미(Cavender, 1973; Cavender와 Raper, 1968), 캐나다(Cavender, 1972), 동남아시아(Cavender, 1969a, b), 동아프리카(Cavender, 1969b), 유럽(Cavender, 1969a, 1973), 일본(竹内郁夫, 1982; 神田卓三, 1982; 神田房行, 1983; Cavender와 Kawabe, 1989), 한국(홍과 장, 1991a, 1992b, 1993; 홍 등, 1992a, b; 최, 1993; 권, 1993; 장 등, 1993a; 심, 1994), 스위스(Traub 등, 1981a) 및 극지방(Stephenson 등, 1991)이나 tundra(Cavender, 1978)에까지 나타나는 것으로 보고되고 있어, 이 생물은 환경에 따라 특이적이기는 하지만 전 세계에 걸쳐 분포하고 있음이 밝혀졌다. 서식지 또한 경작지, 초지(Smith와 Keeling, 1968; Sutherland와 Raper, 1978), 사막(Benson과 Mahoney, 1977), 동굴(Landolt 등, 1992), 동물의 배설물(Raper, 1984), 하천변(권, 1993) 등 다양하게 보고되었다.

인간의 거주지 근처에는 인간의 간섭과 교란에 의해 물리적, 생물적 환경구배의 급격한 변화가 유발되며, 인간간섭에 의한 식생의 변화(김 등, 1989)나 답압에 의한 등산로 주변 식생의 변화(오, 1979), 야영지 주변 식생의 변화(Merriam, 1985) 등이 보고되어 왔다. 이러한 변화들은 그 지역의 생태계의 변화를 의미하며 세포성 점균류도 이에 영향을 받을 것으로 사료된다.

이에 본 연구에서는 인간의 출입이 적은 자연림과 인간의 출입이 잦은 동물원 주변의 삼림, 인간의 생활공간과 가장 밀접히 접해 있는 캠퍼스 내의 조경림을 우리 나라와 일본에서 각각 한 지역씩 선정하고 그 곳에서 출현하는 세포성 점균의 분포 양상을 비교하였다. 자실체의 형성은 세포성 점균의 분포와 번식에 있어서 중요한 의미를 가지는데, 이러한 자실체 형성에 온도가 미치는 영향을 연구하였다. 자실체의 형성은 완충능력(buffering capacity), 배지의 염농도(salt concentration), 바로 위에서 비추는 빛의 존재 유무(overhead light) 등에 의해 영향을 받는데(Newell 등, 1969), 이러한 환경에 반응해 자실체를 형성하는 것은 임의적으로 일어나는 것이 아니라 주어진 환경에서 생존과 번식에 가장 적합한 방법으로 이루어진다는데 그 의의가 있다(Newell 등, 1969). 자실체 형성에 영향을 미치는 여러 환경요인 중 온도의 영향을 살펴보았다.

재료 및 방법

1. 세포성 점균의 분포 조사

채집은 1993년 10월에서 1994년 8월에 걸쳐, 우리나라의 덕유산 5개 지소, 서울대공원 동물원

4개 지소, 서울대학교 캠퍼스 4개 지소에서, 일본의 쓰꾸바산 4개 지소, 타마동물원 3개 지소, 도쿄 가꾸게이대학 4개 지소에서 Benson과 Mahoney(1977)의 'Simple Sampling Method'에 따라 하였다.

Fig. 1에서 보는 바와 같이, 우리나라와 일본에서 본 연구의 조사지역으로 선정한 지소는 35~40° 사이의 위도에 위치하여 있다. 우리나라의 덕유산은 경도 127°4'~127°5', 위도 35°4'~36°0'의 전북 무주군에 위치하는 높이 1,614m의 산으로, 주목과, 소나무과, 매자나무과, 자작나무과, 참나무과, 진달래과 등이 많다(박, 1983). 연평균기온은 11.9°C로 일년중 7월이 27.4°C로 가장 높고 2월이 0.1°C로 가장 낮으며 평균 강수량은 1,281.4mm이다(박, 1983). 채집은 고도별, 식생별로 행하였다.

서울대공원 동물원과 서울대학교는 과천시와 서울시에 각각 위치하며, 서울의 연평균 기온은 12.32°C, 월평균 최고기온은 8월의 25.4°C, 최저기온은 1월의 -4.9°C이고 연평균 강수량은 1,158.2mm이다(한국도시연감, 1992). 두 지소 모두 사람들이 자주 지나다니는 식생 지역에서 채집이 이루어졌다.

일본의 쓰꾸바산은 경도 140°0'~140°5', 위도 36°3'의 쓰꾸바시 중서부에 위치한 높이 876mm의 산이다. 산정상부에는 편백이나 침엽수림이 우점하고 있었고 기부에는 참나무과 단풍나무과 등이 혼재하였다. 고도별, 식생별로 채집하였다. 타마동물원은 동경 日野市에 위치하고 있는 생태동물원으로 자연방양이 특징이다. 가꾸게이대학은 동경에 위치하고 있는 교육대학으로 두 지소 모두 사람들이 지나다니는 길 옆의 식피에서 채집하였다. 동경의 연평균 기온은 15.6°C로 8월의 27.1°C가 최고기온이며, 1월의 5.2°C가 최저기온이다. 연평균 강수량은 1,405mm(일본통계연감, 1990)이다.

종의 분리는 Cavender와 Raper(1965)의 정량적 방법에 따라 수행하였다. 분리된 종은 홍과장(1990, 1991), Olive(1975), Raper(1984), Hagiwara(1989)의 분류 Key와 종기록, 그리고 다른 많은 연구들의 종기록에 근거하여 동정하였다. 배양 후 5~6일이 지나면 거의 완전한 자실체를 형성하는데, 관찰은 3일째부터 시작하여 점액 아메바의 집합형태, 이동기의 유무 및 형태, 포자 및 자실체의 모양, 색깔 등을 기록하고, 현미경 사진을 촬영하며, 이들 특징에 따라 종을 동정하였다. 동정이 어려운 종은 0.1% LP agar(lactose-peptone agar) 배지에 순수 분리하여(Benson 등, 1977) 계대배양시키며 계속 관찰하여 최종적으로 확인하여 분류하였다.

배양후 나타난 각 종의 수를 콜로니 카운터로 계산하고, Benson과 Mahoney(1977) 및 Cavender(1976)의 방법에 따라 각각의 채집지소, 삼림형태 및 지역별로 종의 밀도와 빈도를 계산하였다.

- a. 절대밀도(absolute density) : 토양 1g당 종의 수
- b. 상대밀도(relative density : D) : 특정 종의 절대 밀도 / 모든 종의 절대밀도 × 100(%)
- c. 시료빈도(sample frequency : F) : 특정 종이 출현한 시료의 수 / 전체 시료의 수 × 100(%)
- d. 출현도(presence) : 특정 종이 출현한 지소의 수 / 총 지소의 수 × 100(%)
- e. 중요치(importance value : I.V.) : (2 × 상대밀도 + 시료빈도 + 출현도) / 3

2. 토양 분석

2mm 체로 거른 토양 20g에 증류수 50ml를 가하여 30분간 진탕한 후 24시간 방치한 다음 Whatman No. 44을 사용하여 상등액을 걸러 pH를 측정하였다. 수분함량은 Fresh sample

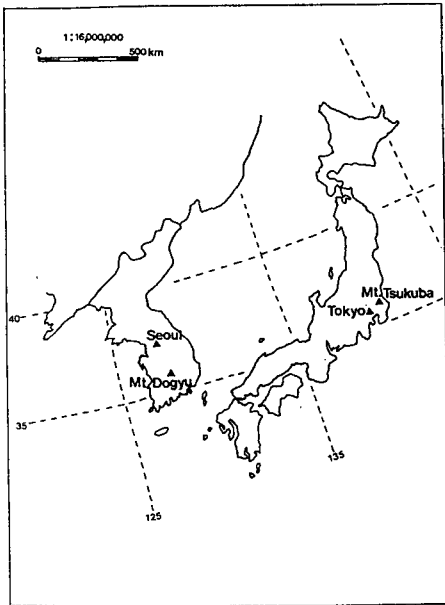


Fig. 1. The map of studied sites.

10~20g을 용기의 무게를 잰 100ml beaker에 담은 후 건조기에 넣어 105℃에서 무게가 일정하게 될 때까지 말린 다음, 제습기에서 30분 정도 냉각시킨 후 정량하였다. 무게의 손실량으로부터 fresh moisture의 비율을 계산하였다. 유기물 함량은 건조기에서 건조시킨 시료 1g을 도가니에 담은 후 furnace에 넣어 450℃에서 4시간 동안 태운 다음, 제습기에서 30분 정도 식힌 후 정량하였다. 태우는 동안 손실된 무게로부터 loss on ignition의 비율을 계산하여 나타내었다.

3. 온도의 영향 조사

조사하고자 하는 *P. candidum*, *D. delicatum*, *D. firmibasis*, *D. sphaerocephalum*, *D. purpureum*, *P. violaceum*의 6종을 미리 같은 조건에서 순수배양하여 세포성 점균의 배양상태가 좋은 것을 선택하여 놓았다. 접종할 L-P plate는 하루 전에 *E. coli*를 미리 spread하고 37℃에서 overnight하여 saturation시킨 것을 사용하였다. Aliquot에 멸균된 D.W.를 1ml씩 넣은 후, 각 세포성 점균의 sori를 약 20여개씩 접종하고 Aliquot을 vortex로 잘 섞어 균질한 상태를 만든 후, 한 종 당 10μl씩 50개의 plate에 접종하였다. 포자의 접종이 끝나면 각 종에 해당하는 50개의 plate를 10, 17, 22, 30, 37℃의 항온기에 각각 10개씩 나누어 넣고 배양하였다. 접종 후 2일째부터 관찰을 시작하여 7일째까지 관찰을 계속하면서 세포성 점균이 자라는 형태를 기록하고, 완전히 자실체를 형성한 것들은 colony counter로 세었다.

결과 및 고찰

인간간섭에 따른 세포성 점균의 출현을 조사하기 위하여, 등산로에서 떨어져 인간의 출입이 적은 산림과 인간의 출입이 잦은 삼림으로써 동물원, 인간의 생활공간과 가장 밀접히 접하여 있어서 인간의 출입이 가장 잦은 대학교 내 캠퍼스를 비교지소로 선정하여 각각 조사하였다.

세포성 점균의 밀도, 빈도, 출현도, 중요치 및 각 조사지에 대한 고도, 식생, 수분함량, pH, 유기물을 분석한 결과는 Table 1~12와 같다. 그리고 온도가 세포성 점균의 자실체 형성에 미치는 영향을 상대밀도를 기준으로 조사하였다.

1. 인간 간섭에 따른 세포성 점균의 출현과 분포

1) 삼림에서의 세포성 점균

등산로에서 떨어져 있고 인간간섭이 적은 산림 속에서 출현하는 세포성 점균의 총 종수는 13종이었으며 지소당 출현한 평균 종수는 1.44이었다(Table 2, 4). 이 곳에서는 다른 지역에서는 출현하지 않은 *D. delicatum*과 *D. aureo-stipes* var. *aureo-stipes*, *D. candidum*이 출현하였으며, 가장 다양한 종이 골고루 분포하는 양상을 보였다(Fig. 2). 가장 우세하게 출현한 종은 *P. pallidum* 이었고, 그 다음은 *D. brefeldianum*, *D. minutum*으로 이들 3종이 산림에서 출현한 전체 개체수의 약 70%를 차지하였다. *D. minutum*은 일본의 쓰꾸바산과 우리나라의 덕유산 모두에서 출현한 반면에 가장 우세하게 출현한 *P. pallidum*과, 그 다음으로 우세한 *D. brefeldianum*은 각각 쓰꾸바산과 덕유산에서만 출현하였다.

쓰꾸바산의 정상부근인 편백과 침엽수림에서 출현한 *D. delicatum*은, 세계의 다른 지역에서는 아직 발견되지 않는 일본 고유종으로 *D. mucoroides*, *P. violaceum*, *P. pallidum*과 더불어 일본에서 가장 흔히 출현하는 4종 중 하나로 보고되고 있다(Cavender와 Kawabe, 1989). 우리나라

Table 1. Water content, pH and organic matter content in soil of Tsukuba Mountain

Site	Altitude (m)	Forest type (minor species)	Water content (%)	pH	Organic matter (%)
C1	840	<i>Sasa borealis</i> <i>Acer palmatum</i>	29.4	5.05	39.3
C2	840~740	<i>Chamaecyparis obtusa</i> <i>Humulus lupulus</i>	41.7	4.40	26.9
C3	600~740	<i>Chamaecyparis obtusa</i>	28.2	6.48	30.6
C4	400~500	대나무	25.1	5.61	32.8

Table 2. Occurrence and distribution of cellular slime molds in soil of Tsukuba Mountain

Species	Site 1		Site 2		Site 3		Site 4		Avg. freq.(%)	Rel. dens.(%)	Presence (%)	I. V.
	F	D	F	D	F	D	F	D				
<i>P. pallidum</i>		—	100	63	100	68	67	53	67	60	75	87
<i>D. delicatum</i>		—	67	31	67	26	—	—	34	20	50	41
<i>D. purpureum</i>		—	—	—	67	4	—	—	17	1	25	21
<i>D. minutum</i>		—	—	—	—	—	33	47	8	13	25	20
<i>D. capitatum</i>		—	33	6	—	—	—	—	8	2	25	12
<i>D. sphaerocephalum</i>	3	54	—	—	—	—	—	—	8	2	25	12
<i>D. candidum</i>	3	46	—	—	—	—	—	—	8	1	25	12
<i>P. violaceum</i>		—	—	—	33	2	—	—	8	<1	25	12
Total clones(/g soil)		140		1,600		1,700		1,375		4,815		
Number of species		2		3		4		2		Avg. 2.8		

Table 3. Water content, pH and organic matter content in soil of Deogyu Mountain

Site	Altitude (m)	Forest type (minor species)	Water content (%)	pH	Organic matter (%)
C1	1,620	<i>Sasa borealis</i>	7.65	4.87	37.8
C2	1,540~1,590	<i>Quercus</i> sp.	8.13	4.44	57.1
C3	1,270~1,520	<i>Betula platyphylla</i>	6.31	5.02	32.9
C4	1,100~1,180	<i>Quercus</i> sp.	6.14	4.46	37.8
C5	880~1,040	<i>Acer palmatum</i>			
		Evergreen broad leaved forest	6.07	5.28	29.5

Table 4. Occurrence and distribution of cellular slime molds in soil of Deogyu Mountain

Species	Site 1		Site 2		Site 3		Site 4		Site 5		Avg. freq.(%)	Rel. dens.(%)	Pre-ence(%)	I.V.
	F	D	F	D	F	D	F	D	F	D				
<i>D. brefeldianum</i>	50	94	-	-	-	-	8	31	-	-	35	8	40	39
<i>D. aureo-stipes</i>														
var. <i>aureo-stipes</i>	-	-	-	-	25	86	17	34	-	-	23	11	40	32
<i>D. mucoroides</i>	-	-	-	-	-	-	17	34	33	3	22	7	40	30
<i>D. minutum</i>	17	2	17	95	-	-	-	-	-	-	15	4	40	25
<i>P. tenuissimum</i>	17	2	17	5	33	14	-	-	-	-	1	13	60	25
<i>D. firmibasis</i>	-	-	-	-	-	-	8	1	100	68	4	8	40	19
<i>P. violaceum</i>	33	2	-	-	-	-	-	-	-	-	<1	4	20	8
Total clones(/g soil)	1,671		1,533		161		3,130		641			7,136		
Number of species	4		2		2		4		2			Avg. 2.8		

의 지리산의 한 저소에서도 이 종이 보고된 적이 있지만(장 등, 1994 미발표), 그 이외의 다른 지역에서는 아직 보고되고 있지 않다.

일본에서 종종 출현하며 쓰꾸바산에서도 분리된 바 있는 이 *D. delicatum*과는 대조적으로, 우리나라의 덕유산에서는 *D. aureo-stipes* var. *aureo-stipes*가 출현하였다. 일본에서는 *D. aureo-stipes* var. *aureo-stipes*가 매우 적게 출현하는데 반해(Cavender와 Kawabe, 1989), 한국의 남해안과 남부에 분포하는 산림들에서는 종종 *D. aureo-stipes* var. *aureo-stipes*가 출현한다(장 등, 1994 미발표). *D. delicatum*과 *D. aureo-stipes* var. *aureo-stipes*이 형태적으로 매우 유사한 형태를 가지고 있다는 점을 생각해 볼 때, 이렇게 서로 특이한 분포형태를 가지는 것은 매우 흥미있는 사실이다. 단지 차이가 있다면, *D. delicatum*이 *D. aureo-stipes* var. *aureo-stipes*보다 branching이 덜하며, 어두움 속에서 배양했을 때 포자낭이 색소(pigment)를 띠지 않는다는 것뿐이다(Cavender와 Kawabe, 1989; Raper, 1984). 이 두 종은 분포에 있어서도 생태적인 차이를 보이고 있는데, *D. delicatum*은 북쪽지역의 숲(boreal forest), 특히 혼합된 침엽수림에서 출현하고, *D. aureo-stipes* var. *aureo-stipes*는 따뜻한 온대기후, 특히 녹나무과의 삼림에서 주로 발견된다(Cavender와 Kawabe, 1989; Raper, 1984). 즉, 기후가 이 두 종의 생태적인 분포의 특징을 결정하는 주요 요인들 중의 하나가 된다.

이와 같은 특징들을 고려할 때, 일본과 비슷한 위도에 위치한 우리나라에서도 중부지방에서 세포성 점균의 분포가 좀 더 연구된다면, 일본과 마찬가지로 *D. delicatum*이 종종 발견되어 질 것

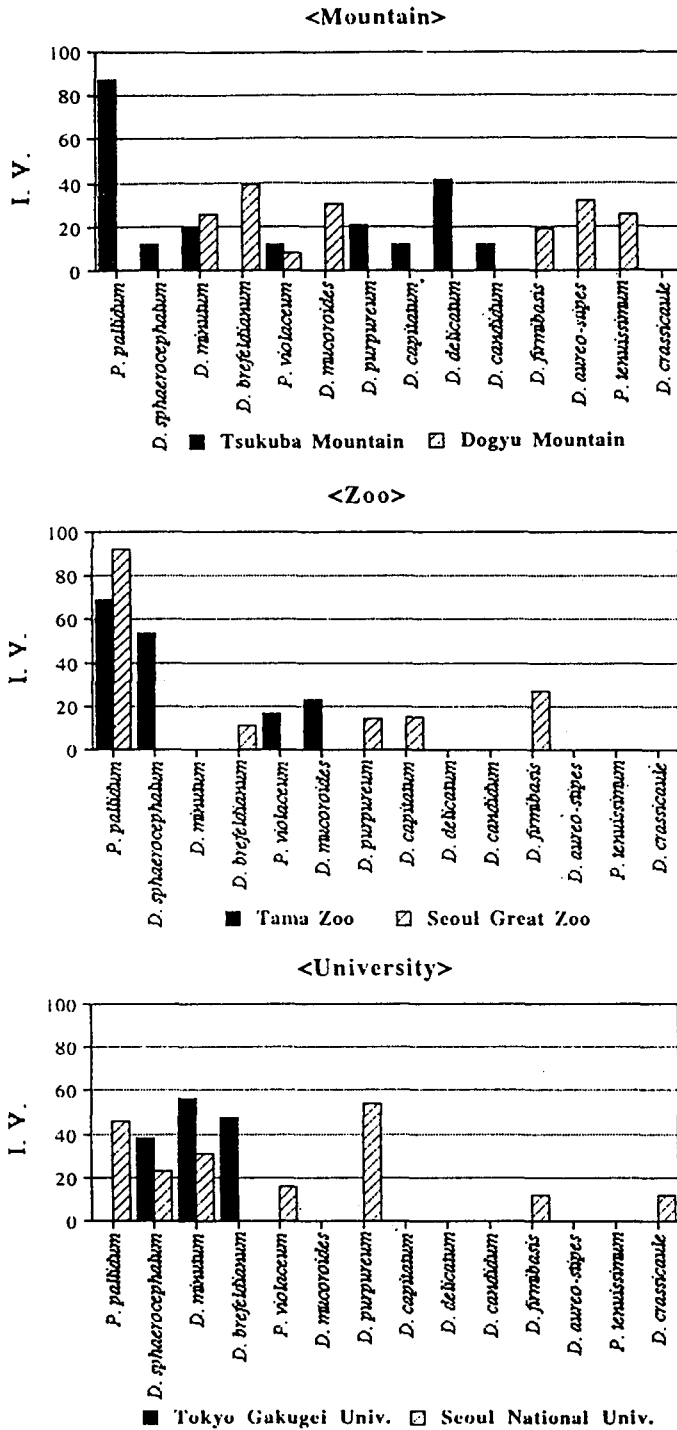


Fig. 2. The Importance value of cellular slime molds among mountain, zoo and university.

Table 5. Water content, pH and organic matter content in soil of Tama Zoo

Site	Altitude (m)	Forest type (minor species)	Water content (%)	pH	Organic matter (%)
C1		<i>Quercus</i> sp.	25.5	5.80	26.8
C2		<i>Quercus</i> sp. <i>Sasa borealis</i>	10.8	5.67	22.9
C3		<i>Quercus</i> sp. <i>Sasa borealis</i>	15.1	5.62	15.8

으로도 추측이 가능하지만 따뜻한 온대기후를 가진 일본에서 *D. aureo-stipes* var. *aureo-stipes*가 아주 드물게 밖에 출현하지 않는 것과 미국의 오하이오주(Cavender와 Hopka, 1986)와 버지니아주(Landolt와 Stephenson, 1990)에서는 종종 발견된다는 것으로 보아 *D. delicatum*과 *D. aureo-stipes* var. *aureo-stipes*의 분포에서는 온도 이외에, 그 지방의 지역적 특성이 강하게 영향을 미치거나, 온도가 식생이나 박테리아와 같은 다른 환경요인에 작용함으로써 간접적으로 영향을 미칠 가능성이 더 크지 않을까 사료된다.

2) 동물원에서의 세포성 점균

Table 6과 8에서 보는 바와 같이 일본의 다마동물원과 우리나라의 서울대공원 동물원에서는 총 8종이 출현하였으며 지소당 출현한 평균 종수는 1이었다. 동물원은 산림과 마찬가지로 *P. pallidum*이 가장 우세하게 출현하였으며 그 다음은 *D. firmibasis*, *D. capitatum*의 순으로 총 개체수의 89%를 차지하였다. 또한 *D. sphaerocephalum*이 일본의 타마동물원에서 비교적 우세하게 발견되었다. 이 종은 교란된 토양에서 더 풍부하다고 보고되었으며(Cavender, 1983; Cavender와 Lakhapal, 1986), 삼림토양보다 환경조건이 더 열악한 초지에서 잘 적응하고(장 등, 1994) 간섭이 심한 지역이나 과수원과 같은 경계 서식지에 주로 분포한다고 보고되고 있다(Cavender와 Kawabe, 1989; Raper, 1984). 인간간섭을 받은 동물원 주위의 식생에서 이 종이 우세한 것도 위와 같은 이유로 생각된다.

3) 캠퍼스에서의 세포성 점균

일본의 가꾸게이대학과 우리나라의 서울대학교 내 캠퍼스에서는 총 8종이 출현하였으며 지소당 출현한 평균 종수는 1이었다(Table 10, 12). *D. minutum*이 가장 우세하게 출현하였고, 그 뒤를 이어 *P. pallidum*과 *D. sphaerocephalum*이 많이 출현하였다. 이 3종은 캠퍼스에서 출현한 총

Table 6. Occurrence and distribution of cellular slime molds in soil of Tama Zoo

Species	Site 1		Site 2		Site 3		Avg. freq. (%)	Rel. dens. (%)	Presence (%)	I. V.
	F	D	F	D	F	D				
<i>P. pallidum</i>	33	75	-	-	33	100	22	59	67	69
<i>D. sphaerocephalum</i>	67	22	33	40	-	-	33	31	67	54
<i>D. mucoroides</i>	-	-	67	20	-	-	22	7	33	23
<i>P. violaceum</i>	33	4	-	-	-	-	11	3	33	17
Total clones(/g soil)	1,000		275		25			1,300		
Number of species	3		2		1			Avg. 2.0		

Table 7. Water content, pH and organic matter content in soil of Seoul Great Zoo

Site	Altitude (m)	Forest type (minor species)	Water content (%)	pH	Organic matter (%)
C1		<i>Quercus</i> sp. <i>Alnus japonica</i>	28.4	4.67	24.3
C2		<i>Salix koreensis</i> beside of lake.	40.3	6.07	87.0
C3		대나무	2.91	5.59	9.92
C4		<i>Pinus densiflora</i>	5.33	5.34	6.19

Table 8. Occurrence and distribution of cellular slime molds in soil of Seoul Great Zoo

Species	Site 1		Site 2		Site 3		Site 4		Avg. freq. (%)	Rel. dens. (%)	Presence (%)	I. V.
	F	D	F	D	F	D	F	D				
<i>P. pallidum</i>	33	14	100	100	100	65	--	--	58	72	75	92
<i>D. firmibasis</i>	100	86	--	--	--	--	--	--	25	16	25	27
<i>D. capitatum</i>	--	--	--	--	--	--	33	100	8	6	25	15
<i>D. purpureum</i>	--	--	--	--	33	33	--	--	8	5	25	14
<i>D. brefeldianum</i>	--	--	--	--	33	3	--	--	8	<1	25	11
Total clones (/g soil)	1,925		6,000		1,540		600		21	10,065		
Number of species	2		1		3		1		Avg. 1.8			

Table 9. Water content, pH and organic matter content in soil of Tokyo Gakugei University

Site	Altitude (m)	Forest type (minor species)	Water content (%)	pH	Organic matter (%)
C1		<i>Quercus</i> sp.	33.3	6.52	39.5
C2		<i>Pinus densiflora</i> <i>Sasa borealis</i>	16.9	4.59	36.0
C3		<i>Quercus</i> sp.	30.2	6.11	37.4
C4		Grass and shrubs	25.6	6.77	26.5

개체수의 약 76%를 차지하였다. 동물원에서도 출현하였던 *D. sphaerocephalum*이 두 캠퍼스 모두에서 발견되었다.

4) 인간간섭에 따른 비교

우리나라의 덕유산과 일본의 쓰꾸바산, 우리나라의 서울대공원 동물원과 일본의 다마동물원, 우리나라의 서울대학교와 일본의 도쿄 가꾸게이 대학에서 출현한 각 종에 대한 전체 개체수를, 일원변량분석(one-way ANOVA test)으로 분석한 결과(Table 13), 쓰꾸바산과 덕유산, 도쿄 가꾸게이대학과 서울대학교간에는 유의한 차이를 보이지 않았고($P > .05$), 타마동물원과 서울대공원 동물원간에서는 통계적으로 매우 유의한 차이를 나타내었다($P < .001$). 따라서, 우리나라와 일본의 환경 조건 차이는 세포성 점균류의 분포에 그다지 큰 영향을 미치지 못하고 있는 것으로 사료된다.

지소별로 산과 동물원, 캠퍼스에서 출현한 각 종에 대한 총 개체수를 일원변량분석(one-way ANOVA test)으로 분석한 결과 산과 동물원, 산과 캠퍼스가 유의한 차이를 나타내었으며($P < .$

Table 10. Occurrence and distribution of cellular slime molds in soil of Tokyo Gakugei University

Species	Site 1		Site 2		Site 3		Site 4		Avg. freq. (%)	Rel. dens. (%)	Presence (%)	I. V.
	F	D	F	D	F	D	F	D				
<i>D. minutum</i>	67	100	—	—	33	100	—	—	25	46	50	56
<i>D. brefeldianum</i>	—	—	33	62	—	—	33	67	25	34	50	48
<i>D. sphaerocephalum</i>	—	—	67	38	—	—	67	33	25	20	50	38
Total clones(/g soil)	1,110		1,215		320		445			3,090		
Number of species	1		2		1		2			Avg. 1.5		

Table 11. Water content, pH and organic matter content in soil of Seoul National University

Site	Altitude (m)	Forest type (minor species)	Water content (%)	pH	Organic matter (%)
C1		<i>Quercus</i> sp.	36.3	5.84	27.7
C2		<i>Chamaecyparis obtusa</i>	24.8	6.28	44.0
C3		<i>Zoysia japonica</i>	0.91	4.62	8.2
C4		Grass and shrubs	16.7	5.13	16.7

Table 12. Occurrence and distribution of cellular slime molds in soil of Seoul National University

Species	Site 1		Site 2		Site 3		Site 4		Avg. freq. (%)	Rel. dens. (%)	Presence (%)	I. V.
	F	D	F	D	F	D	F	D				
<i>P. pallidum</i>	67	600	33	37	—	—	—	—	25	32	50	46
<i>D. minutum</i>	—	—	33	60	—	—	—	—	8	30	25	31
<i>D. purpureum</i>	33	1	67	4	—	—	67	92	56	15	75	54
<i>D. sphaerocephalum</i>	—	—	—	—	67	100	—	—	17	14	25	23
<i>P. violaceum</i>	33	31	—	—	—	—	—	—	8	7	25	16
<i>D. firmibasis</i>	33	8	—	—	—	—	—	—	8	2	25	12
<i>D. crassicaule</i>	—	—	—	—	—	—	33	8	8	1	25	12
Total clones(/g soil)	750		1,780		500		500			3,530		
Number of species	4		3		1		2			Avg. 2.5		

01), 동물원과 캠퍼스는 유의한 차이를 나타내지 않았다($P > .5$, Table 14). 즉, 인간출입이 적은 자연림 상태의 산림은, 인간의 출입이 잦은 삼림인 동물원, 인간의 생활공간과 가장 밀접히 접해 있고 조림지의 성격이 강한 캠퍼스와는 세포성 점균의 출현과 분포에 있어서 차이가 있음을 알 수 있었다. 이것으로 보아 인간간섭이 세포성 점균의 출현과 분포에 영향을 주는 것으로 생각된다. 산림에서는 동물원이나 캠퍼스에서 발견되지 않은 고유한 종들이 발견되었고, 동물원이나 캠퍼스의 종다양성 지수가 1 species/site 인데 비해 산림에서는 종다양성 지수가 1.4 species/site로 다소 높았다. *D. sphaerocephalum*의 출현을 보면, 이 종은 산림과 동물원, 캠퍼스에서 모두 출현하였지만, 중요치를 볼 때 산림에서는 6, 동물원에서는 27, 캠퍼스에서는 31로 인간간섭의 정도에 따라 그 값이 상승하는 것을 알 수 있었다.

2. 온도에 따른 세포성 점균의 자실체 형성

Table 13. One-way ANOVA test of total clones for each slime mold between the Mt. Deogyu and Mt. Tsukuba, Seoul Great Zoo and Tama Zoo, Seoul Natl. Univ. and Tokyo Gakugei Univ.

Variables	df	F	P
Mt. Deogyu-Mt. Tsukuba	13	1.8367	.2061
Seoul Great Zoo-Tama Zoo	13	94.9051	.0000
Seoul Natl. Univ.-Gakugei Univ.	13	2.2170	.1490

Table 14. One-way ANOVA test of total clones for each slime mold among the sites

Variables	df	F	P
Mountain-Zoo	13	36.8370	.0000
Zoo-University	13	1.6905	.2443
University-Mountain	13	10.2323	.0101

1) 자실체 형성 최적 온도와 온도 감수성

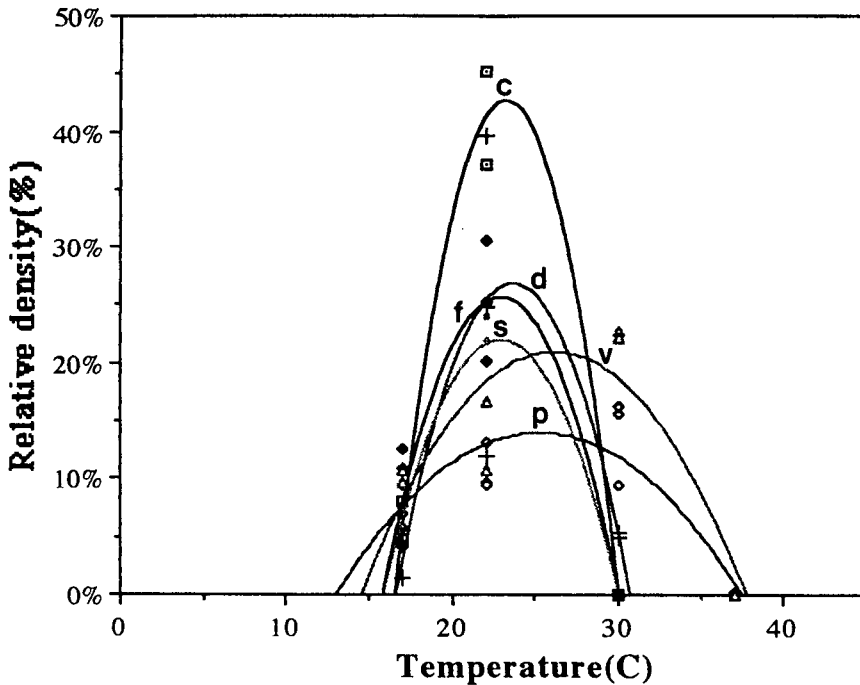
온도영향에 대해서는 조사되어진 6개의 종들 중 *P. candidum*, *D. delicatum*, *D. firmibasis*, *D. sphaerocephalum*의 4종들은, 일반적으로 세포성 점균을 배양할 때 가장 적합한 온도로 보고되어 지는 22~23℃에서 자실체 형성이 가장 적합한 것으로 나타났다. 나머지 두 종인 *D. purpureum*, *P. violaceum*은 다소 고온인 25~30℃에서 자실체 형성이 더 많이 되었다. 또한 각 온도당 형성된 자실체의 상대 밀도를 비교하여 보면, 온도에 민감한 반응을 보인 순서는 *P. candidum* > *D. delicatum* > *D. firmibasis* > *D. sphaerocephalum* > *P. violaceum* > *D. purpureum*의 순이었다 (Fig. 3).

그러나 자연상태에서 존재하는 세포성 점균의 분포를 살펴보면, *P. candidum*과 *D. firmibasis*는 연평균 기온이 6℃이하인 일본 북부 지역과 연평균 기온이 6~13℃인 냉온대 지역에서 두루 많이 발견되며, 이에 비해 연평균 기온이 13~22℃인 난온대 지역에서는 비교적 적게 발견된다고 보고되어 있다(Cavender, 1989). 즉, 실험에 의해 조사된 최적 온도보다 더 낮은 온도에서 많이 출현하는 것이다. 그러나, 비교적 넓은 온도 범위에서 두루 나타난다고 볼 수 있다. 이에 반해 *D. delicatum*은 북부 지역에서 압도적으로 많이 발견되며, 연평균 온도가 높아질수록 출현하는 수가 급속히 줄어든다(Cavender, 1989). 이것으로 이 종은 최적온도보다 더 낮은 온도에서, 그러나 비교적 좁은 온도 범위내에서 존재한다는 것을 알 수 있다. 이는 실험실 상황에서 *P. candidum*이 *D. delicatum*에 비해 온도에 더 민감한 반응을 보였던 결과와는 반대되는 것으로 온도보다는 다른 변인에 의해 더 많은 영향을 받는 것으로 사료된다.

*P. candidum*은 30℃에서 계속 slug의 형태로 존재하다가 9일째야 비로소 자실체를 형성하였다. 즉, 이 종은 온도가 높았을 때 slug에서 자실체로의 전환이 늦어지는 것을 알 수 있었다.

*D. purpureum*은 유일하게 37℃에서 포자가 발아하여 자실체를 형성할 수 있었고, 온도가 높을수록 자실체를 더 많이 형성하였다. 이는 온대지역보다 열대지역에서 더 많이 출현하는 기존의 연구와 일치하는 결과를 보인다(Cavender, 1973). 이 종은 온도에 가장 덜 민감한 종으로 가장 넓은 온도 범위에서도 잘 자랐다.

P. violaceum 역시 25~30℃가 최적온도로 비교적 넓은 온도 범위에서 두루 잘 자라는 것으로 나타났다. Cavender와 Kawabe(1989)에 의하면 이 종은 일본 북부지역과 냉온대지역 즉, 13℃이하의 지역에서 많은 분포를 보이며, Cavender(1973)에 의하면 온대지역에서 가장 많은 분포



C □	<i>P. candidum</i>	$y = -4.6778 + 0.43896x - 9.4342e-3x^2$	$R^2 = 0.979$
f ◆	<i>D. firmibasis</i>	$y = -2.4341 + 0.23508x - 5.1314e-3x^2$	$R^2 = 0.885$
d +	<i>D. delicatum</i>	$y = -2.7794 + 0.25775x - 5.4473e-3x^2$	$R^2 = 0.702$
p ○	<i>D. purpureum</i>	$y = -0.45517 + 4.7130e-2 - 9.3290e-4x^2$	$R^2 = 0.709$
s •	<i>D. sphaerocephalum</i>	$y = -2.1044 + 0.20283x - 4.4228e-3x^2$	$R^2 = 0.932$
v △	<i>P. violaceum</i>	$y = -0.854 + 8.1437e-2x - 1.5576e-3x^2$	$R^2 = 0.723$

Fig. 3. The effect of temperature on fructification in cellular slime molds.

를 보인다고 보고되었다. 그러나, 환경이 건조한 경우에는 온대보다는 열대나 아열대의 지역에서 더 흔하게 출현하게 된다는 보고가 있다(Cavender와 Kawabe, 1989). 즉, 이 종은 온도에 의해서 존재 가능한 분포한계가 주어지고, 그 안에서 다른 환경조건 - 예를 들어 수분상태 - 에 의해 실제 이 종의 분포지역이 설정되는 것으로 사료된다. *P. violaceum*이 온대와 열대에 걸쳐 널리 분포하는 코즈모폴리턴종이 될 수 있었던 것의 한 이유를 이와 같은 온도와 수분에 대한 넓은 적응력에서 찾아볼 수 있을 것이다.

마지막으로 22°C에서 자실체를 가장 잘 형성한 *D. sphaerocephalum*은 13°C 이하에서는 분포되지 않는 것으로 보고되고 있다(Cavender와 Kawabe, 1989). 실험에 의하면 가장 좁은 온도범위를 가진 종으로 30°C에서는 성장을 하지 못하였다. 이 종은 앞에서 보았던 것처럼 삼림토양보다 환경조건이 더 열악한 초지에서 잘 적응하며, 간섭이 심한 지역이나 과수원과 같은 경계 서식지에 주로 분포한다고 보고되고 있다. 가장 좁은 온도 범위를 가졌음에도 가장 열악한 환경에서

잘 자라는 것으로 보아 온도보다 더 중요한 환경요인이 작용하는 것으로 사료된다.

2) 자실체의 형성

22℃에서 자란 *D. delicatum*은 30℃에서 배양된 *D. delicatum*과 비교해 볼 때, 초기의 성장시 가지를 거의 형성하지 않았고 작은 크기의 자실체를 빠르게 형성하였다. 그러나, 30℃에서 자라는 종은, 비록 느리기는 하지만, 가지를 많이 가지며 더 크고 cluster된 자실체를 형성하여 7일 이후가 되면 빠른 속도로 자실체를 형성하였다. *D. delicatum*과 *D. aureo-stipes* var. *aureo-stipes*가 가지형성에 있어서 차이가 났고 또한 생태적 서식지도 달랐었는데, 이것으로 보아 온도에 의한 영향임을 생각할 수가 있으며 또, 이 두 종이 서로 다른 종이 아니라 온도에 의해서 서로 다르게 적응한 생태형일 것이라는 가능성도 추후 연구해 보아야 할 것이다.

*D. purpureum*은 온도에 따라서 sori색의 변이가 심했는데, 대체로 17℃에서는 연하고 투명한 보라색의 sori를 형성했고 온도가 높아질수록 진하고 불투명한 보라색의 sori를 형성하였다. 이는 Hagiwara(1989)가 했던 선행연구와 일치하는 결과를 보였다.

대체적으로 모든 종들이 자기에게 적합한 최적 온도인 경우에는 큰 자실체를 형성하고 그렇지 않은 온도일 때는 작은 자실체를 형성하였다. 환경에 따른 자실체의 형성반응은 생존과 번식에 가장 적합한 전략이리는데 그 의미가 있다(Newell 등, 1969). 결국 세포성 점균들은 자실체의 형성에 가장 적합한 최적 온도와 분포할 수 있는 온도한계를 각각 가지면서 주어진 환경안에서 가장 효과적으로 생존할 수 있는 여러 전략을 사용한다고 볼 수 있다. 그러나, 온도에 따른 자실체의 형성반응이 세포성 점균의 분포를 직접적으로 결정하는 것은 아니라고 생각된다. 실험이 이루어진 대부분의 종들은 비교적 22~23℃에서 최적 온도를 나타내었으나 이것이 그 종의 분포양상과 꼭 일치하지는 않았다.

따라서, 세포성 점균의 분포는 온도에 의하여 각 종별로 생존 가능한 한계 범위가 주어지고, 그 범위내에서는 다른 여러 환경요인 - 수분이나 성장속도, 이것으로 인한 다른 종과의 경쟁이나, 온도가 매개하여 영향을 미치는 식생, 박테리아와 같은 기질요인 - 이 세포성 점균의 분포에 복합적으로 영향을 미치는 것으로 사료된다(Mcqueen, 1971).

적 요

인간간섭에 따른 세포성 점균의 출현과 분포를 조사하고, 온도가 자실체의 형성에 미치는 영향을 연구하였다. 인간의 간섭이 세포성 점균에 미치는 영향을 알기 위하여, 등산로에서 멀리 떨어져 인간의 출입이 적은 우리나라의 덕유산과 일본의 쓰꾸바산의 산림, 인간의 출입이 잦은 식생으로 우리나라의 서울대공원 동물원과 일본 동경에 있는 타마 동물원내 삼림, 인간의 생활공간과 밀접히 관련되어 있어서 인간의 출입이 잦은 조림지로 서울대학교 캠퍼스와 도쿄 가꾸게이 대학내 식림을 선택하여 세포성 점균의 분포를 조사하였다.

그 결과, 세포성 점균의 분포에 있어서 산림은 동물원과 캠퍼스와는 이질적인 분포를 나타내었고, 동물원과 캠퍼스 사이에는 유의한 차이가 나타나지 않았다. 산림에서는 동물원이나 캠퍼스에서 발견되지 않은 *Dictyostelium delicatum*, *D. aureo-stipes* var. *aureo-stipes*종이 출현하였고, 다른 지역에 비해 종다양성지수가 높았으며, 인간간섭이 높은 동물원과 캠퍼스에서는 수분이나 온도 스트레스에 잘 견디는 *D. sphaerocephalum*의 중요치가 각각 27, 31로 산림의 6보다 높았다.

온도가 자실체 형성에 미치는 영향을 알아보기 위하여 *Polysphondylium candidum*, *D. de-*

licatum, *D. firmibasis*, *D. sphaerocephalum*, *P. violaceum*, *D. purpureum*의 6종을 택하여 여러 온도구배에 따라 배양시킨 결과, *P. violaceum*, *D. purpureum*은 25~30℃가 최적 온도이었고, 나머지 종들은 22~23℃가 최적 온도이었다. 각 종의 온도감수성은 *P. candidum* > *D. delicatum* > *D. firmibasis* > *D. sphaerocephalum* > *P. violaceum* > *D. purpureum*의 순이었다.

인용문헌

1. 권혜련. 1993. 하천(곡릉천, 안양천)변 토양에서 세포성 점균의 분포 및 토양 환경요인의 영향. 서울대학교 석사학위논문.
2. 김준호, 강윤순, 이승우, 조강현, 김용택, 하사현, 민병미. 1989. 인간간섭하의 수도권 그린벨트 내 식물군집의 동태 - 삼림군집의 구조와 이차천이. 한국생태학회지. 12(4):209-218.
3. 박승태. 1983. 덕유산 염상지의식물의 집락 분석. 한국생태학회지. 6(2):145-151.
4. 심규철. 1994. 지리산 세포성 점균에 관한 연구 - 분포 및 이종간의 경쟁적 상호작용. 서울대학교 석사학위논문.
5. 오계철. 1979. 서울 근교 주요 등산로 주변 식생에 대한 인간보행의 영향에 대하여. 자연보호 연구보고서. 1:117-130.
6. 이우철, 임양재. 1978. 한반도의 관속식물 분포에 관한 연구. 한국식물분류학회지. 8(Appendix):1-33.
7. 일본통계연감. 1990.
8. 장남기, 박미아, 이정은. 1993a. 잔디(*Zoysia japonica* Steud.)군락에서의 세포성 점균의 출현. 한국잔디학회지. 7(2,3):113-120.
9. 장남기. 1994(미발표). 남부지역의 식생에 따른 세포성 점균의 출현과 분포. 한국과학재단보고서.
10. 최선영. 1993. 제주도 비자림에서 세포성 점균의 분포 및 비자열매 추출액의 성장효과에 관한 연구. 서울대학교 석사학위논문.
11. 한국도시연감. 1992.
12. 홍정수, 장남기. 1990. 남한의 주요 낙엽수림에서 세포성 점균의 출현과 분포. 한국식물학회지. 33(3):159-168.
13. 홍정수, 장남기. 1991a. 인천 근해 도서지역의 해안식물 군락에 따른 세포성 점균의 출현과 분포. 한국생태학회지. 14(4):457-467.
14. 홍정수, 장남기. 1991b. 교수매체를 통한 개념적 탐구학습의 심리학적 전략에 관한 연구. 한국생물교육학회지. 19(2):115-127.
15. 홍정수, 장남기. 1992a. 고등학교 생물교육에서 세포성 점균의 교재성과 탐구활동 내용 및 전략의 개발. 한국생물교육학회지. 20(1):73-82.
16. 홍정수, 장남기. 1992b. 한라산의 세포성 점균(Ⅲ). - 한국산 미기록 극남 양성 종의 기록. 한국식물학회지. 35(4):307-316.
17. 홍정수, 장남기. 1993. 한라산의 세포성 점균(Ⅲ). - 한국산 미기록 극남 음성 종의 기록. 한국식물학회지. 36(1):9-17.
18. 神田房行. 1983. 釧路濕原のキタヨシにおける群落細胞性粘菌の構成と密度および植生と細胞性粘菌の分布との關係. 일생태회지. 33:453-460.

19. 神田卓三. 1982. 細胞性 粘菌の採集と觀察. 遺傳. June. 36(6):63-68.
20. 竹内郁夫. 1982. 細胞性 粘菌のハタ-ン形成. 遺傳. 36(6)15-20.
21. Benson, M. R. and D. P. Mahoney. 1977. The distribution of Dictyostelid cellular slime molds in southern California with taxonomic notes on selected species. Am. J. Bot., 64:496-503.
22. Cavender, J. C. 1969a. The occurrence and distribution of Acrasieae in forest soils. I. Europe. Am. J. Bot., 56(9):989-992.
23. Cavender, J. C. 1969b. The occurrence and distribution of Acrasieae in forest soils. II. East Africa. Am. J. Bot., 56(9):993-998.
24. Cavender, J. C. 1970. *Dictyostelium dimigraformum*, *Dictyostelium latorsorum*, and *Acytostelium ellipticum*: New Acrasieae from the American tropics. J. Gen. Microbiol., 62:113-123.
25. Cavender, J. C. 1972. Cellular slime molds in forest soils of eastern Canada. Can. J. Bot., 50:1497-1501.
26. Cavender, J. C. 1967. Geographical distribution of Acrasiae. Mycologia, 65:1044-1054.
27. Cavender, J. C. 1976a. Cellular slime molds of Southeast Asia. I. Description of new species. Am. J. Bot., 63:60-70.
28. Cavender, J. C. 1976b. Cellular slime molds of Southeast Asia. II. Occurrence, and Distribution. Am. J. Bot., 63:60-70.
29. Cavender, J. C. 1980. Cellular slime molds of the southern Appalachians. Mycologia, 72:55-63.
30. Cavender, J. C. 1983. Cellular slime molds of the rocky mountains. Mycologia, 75(5):897-903.
31. Cavender, J. C. 1989. Cellular slime molds of Japan. I. Distribution and biogeographical considerations. Mycologia, 81(5):683-691.
32. Cavender, J. C. and C. Hopka. 1986. Distribution patterns of Ohio soil Dictyostelids in relations to physiography. Mycologia, 78(5):825-831.
33. Cavender, J. C. and K. Kawabe. 1989. Cellular slime molds of Japan I. Distribution and Biogeographical considerations. Mycologia. 81:683-691.
34. Cavender, J. C. and K. B. Raper. 1965a. The Acrasiales in nature. I. Isolation, Am. J. Bot., 52:294-296.
35. Cavender, J. C. and K. B. Raper. 1965b. The Acrasiales in nature. II. Forest soils as a primary habitat. Am. J. Bot., 52:297-302.
36. Cavender, J. C. and K. B. Raper. 1968. The occurrence and distribution of Acrasieae in forests of subtropical and tropical America. Am. J. Bot., 55(4):504-513.
37. Cavender, J. C. and T. N. Lakhanpal. 1986. Distribution Dictyostelid cellular slime molds in forests soils of India. Mycologia, 78(1):56-65.
38. Franklin, J. F. 1993. Preserving biodiversity : Species, ecosystem, or landscapes? Ecological Applications, 3(2):202-205.
39. Hagiwara, H. 1989. The taxonomic study of Japanese Dictyostelid cellular slime molds.

- Natl. Sci. Mus. Tokyo. p. 131.
40. Landolt, J. C. and S. L. Stephenson. 1990. Cellular slime molds in forest soils of West Virginia. *Mycologia*. 82:114-119.
 41. McQueen, D. J. 1971. Effects of continuous competition in two species of cellular slime mold: *Dictyostelium discoideum* and *Polysphondylium pallidum*. *Canad. J. Bot.*, 49:1305-1315.
 42. Newell, P. C., Alun Telsler and Maurice Sussman. 1969. Alternative developmental pathways determined by environmental conditions in the cellular slime molds *Dictyostelium discoideum*. *J. Bacteriology*, Nov:763-768.
 43. Olive, L. S. 1975. The mycetozoa: A revised classification. *Bot. Rev.* 59-89.
 44. Raper, K. B. 1935. *Dictyostelium discoideum*, a new species of slime mold from decaying forest leaves. *J. Agr. Res.*, 50:135-147.
 45. Raper, K. B. 1984. *The Dictyoselids*. Princeton Univ., Princeton. p. 453.
 46. Singh, B. N. 1947. Studies on soil Acrasieae. I. Distribution of species of *Dictyostelium* in soils of Great Britain and the effect of bacteria on their development. *J. Gen. Microbiol.*, 1:11-21.
 47. Smith, K. L. and R. P. Keeling. 1968. Distribution of the Aceasieae in Kansas grasslands. *Mycologia*. 60:711-712.
 48. Stephenson, S. L., J. C. Landolt and G. A. Laursen. 1991. Cellular slime molds in soils of Alaskan tundra. *Arctic and Alpine Research*. 23:104-107.
 49. Sutherland, J. B. and K. B. Raper. 1978. Distribution of cellular slime molds in Wisconsin prairie soils. *Mycologia*. 70:1173-1180.
 50. Traub, F., H. R. Hohl and J. C. Cavender. 1981a. Cellular slime molds of Switzerland. I. Description of new species. *Am. J. Bot.* 68(2):162-172.
 51. Traub, F., H. R. Hohl and J. C. Cavender. 1981b. Cellular slime molds of Switzerland. II. Distribution in forest soils. *Am. J. Bot.* 68(2):173-182.
 52. Vidyanad Nanjundiah. 1976. Effect of temperature on morphogenetic oscillations in the *Dictyostelium discoideum*. *Nature*, v 260, April 22:705.
 53. Wilson, E. O. 1986. The current state of biological diversity. Pages 3~18 in E. O. Wilson and F. M. Peter, editors. *Biodiversity*. National Academy Press, Washington, D.C., USA.
 54. Wittingham, W. F. and K. B. Raper. 1957. Environmental factors influencing the growth and fructification of *Dictyostelium polycephalum*. *Amer. J. Bot.* 44:619-627.
 55. Yim, Yang-Jai and Tauto Kira. 1975. Distribution of forest vegetation and climate in the Korea peninsula. I. Distribution of some indices of thermal climate. *Jap. J. Ecology* 25(2):77-88.