表 5. 階層性を適用した種交代行列 モデル-1, -2.

Table 5. Replacement probability of Model-1,2 between the species in the different vertical layers of the canopy (DBH≥10cm).

(Model-1)

1. Transition matrix between the species belonging to the first layer, DBH≥40 cm and to the second layer, 10<DBH<40 cm.

i \ *j*	Gap	*Be*	*Tc*	*Am*	*As*	*Ul*	*Pj*	*Qm*	*Tm*	*Kp*
Gap	0.000	0.000	0.000	0.500	0.125	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
Be	0.106	0.000	0.083	0.188	0.099	0.000	0.000	0.333	0.000	0.000
Tc	0.018	0.000	0.014	0.000	0.042	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
Am	0.174	0.000	0.042	0.000	0.107	0.500	0.125	0.000	0.000	0.000
As	0.315	0.500	0.417	0.313	0.257	0.000	0.375	0.667	0.375	0.500
Ul	0.083	0.500	0.139	0.000	0.148	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
Pj	0.173	0.000	0.097	0.000	0.197	0.500	0.417	0.000	0.250	0.500
Qm	0.014	0.000	0.000	0.000	0.025	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
Tm	0.046	0.000	0.167	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.375	0.000
Kp	0.071	0.000	0.042	0.000	0.000	0.000	0.083	0.000	0.000	0.000

2. Transition matrix between the species belonging to the second layer, 10≤DBH<40 cm and to the third layer, height≥2 m and DBH<40 cm.

i \ j	Gap	Be	Tc	Am	As	Ul	Pj	Qm	Tm	Kp	Pa	Fm	Mo	Sc	Ps	Cc
Gap	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
Be	0.121	0.057	0.063	0.066	0.106	0.132	0.029	0.315	0.070	0.025	0.066	0.097	0.000	0.166	0.000	0.000
Tc	0.000	0.056	0.000	0.011	0.006	0.005	0.010	0.000	0.000	0.083	0.000	0.000	0.000	0.013	0.000	0.000
Am	0.303	0.232	0.203	0.356	0.174	0.214	0.117	0.000	0.048	0.161	0.271	0.197	0.172	0.087	0.063	0.063
As	0.156	0.091	0.108	0.037	0.198	0.068	0.193	0.067	0.022	0.211	0.069	0.197	0.310	0.232	0.000	0.063
Ul	0.000	0.013	0.016	0.014	0.001	0.024	0.003	0.000	0.030	0.000	0.047	0.000	0.034	0.005	0.000	0.000
Pj	0.080	0.100	0.046	0.031	0.096	0.092	0.115	0.179	0.000	0.186	0.199	0.177	0.276	0.116	0.000	0.438
Qm	0.000	0.000	0.015	0.000	0.003	0.005	0.000	0.000	0.000	0.065	0.000	0.000	0.000	0.000	0.188	0.000
Tm	0.000	0.013	0.303	0.127	0.017	0.025	0.049	0.000	0.676	0.000	0.006	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
Kp	0.000	0.025	0.000	0.033	0.004	0.000	0.005	0.000	0.000	0.000	0.011	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
Pa	0.140	0.216	0.153	0.199	0.222	0.343	0.353	0.261	0.086	0.106	0.185	0.214	0.103	0.139	0.000	0.313
Fm	0.022	0.000	0.000	0.007	0.032	0.015	0.003	0.000	0.033	0.013	0.031	0.000	0.034	0.000	0.250	0.000
Mo	0.032	0.108	0.000	0.016	0.063	0.000	0.058	0.133	0.033	0.033	0.081	0.000	0.069	0.006	0.000	0.000
Sc	0.000	0.008	0.016	0.014	0.031	0.010	0.013	0.000	0.000	0.030	0.000	0.000	0.000	0.061	0.000	0.000
Ps	0.077	0.067	0.000	0.036	0.017	0.060	0.028	0.045	0.000	0.054	0.018	0.060	0.000	0.012	0.375	0.125
Cc	0.070	0.014	0.078	0.052	0.030	0.008	0.024	0.000	0.000	0.032	0.016	0.058	0.000	0.163	0.125	0.000

(Model-2)

1. Transition matrix between the species belonging to the first layer, DBH≥40 cm and to the second layer, 20≤DBH<40 cm.

i \ j	Gap	*Be*	*Tc*	*Am*	*As*	*Ul*	*Pj*	*Qm*	*Tm*	*Kp*
Gap	0.156	0.000	0.167	0.500	0.375	0.000	0.000	1.000	0.000	1.000
Be	0.032	0.000	0.083	0.000	0.087	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
Tc	0.017	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
Am	0.162	0.000	0.000	0.000	0.042	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
As	0.311	0.000	0.333	0.500	0.146	0.000	0.333	0.000	0.400	0.000
Ul	0.079	1.000	0.167	0.000	0.142	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
Pj	0.076	0.000	0.000	0.000	0.167	1.000	0.667	0.000	0.400	0.000
Qm	0.008	0.000	0.000	0.000	0.042	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
Tm	0.035	0.000	0.167	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.200	0.000
Kp	0.125	0.000	0.083	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000

2. Transition matrix between the species belonging to the second layer, 20≤DBH<40 cm and to the third layer, 10≤DBH<20 cm.

i \ j	Gap	*Be*	*Tc*	*Am*	*As*	*Ul*	*Pj*	*Qm*	*Tm*	*Kp*	*Pa*	*Fm*	*Mo*	*Sc*	*Ps*	*Cc*
Gap	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.143	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
Be	0.063	0.020	0.000	0.000	0.131	0.000	0.028	0.333	0.000	0.073	0.000	0.042	0.000	0.181	0.250	0.000
Tc	0.005	0.022	0.000	0.019	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.085	0.000	0.000	0.000	0.036	0.000	0.250
Am	0.053	0.142	0.000	0.304	0.056	0.083	0.117	0.000	0.083	0.000	0.092	0.042	0.067	0.115	0.000	0.250
As	0.130	0.342	0.308	0.098	0.242	0.167	0.172	0.100	0.000	0.286	0.187	0.267	0.533	0.182	0.000	0.250
Ul	0.100	0.070	0.214	0.065	0.000	0.181	0.018	0.000	0.000	0.030	0.048	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
Pj	0.045	0.042	0.000	0.060	0.070	0.125	0.083	0.100	0.333	0.197	0.298	0.283	0.133	0.124	0.000	0.000
Qm	0.000	0.000	0.000	0.000	0.004	0.000	0.010	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.012	0.250	0.000
Tm	0.033	0.000	0.286	0.070	0.004	0.000	0.030	0.000	0.383	0.052	0.010	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
Kp	0.028	0.022	0.000	0.000	0.011	0.000	0.030	0.000	0.000	0.010	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
Pa	0.371	0.182	0.115	0.316	0.293	0.333	0.450	0.367	0.067	0.036	0.056	0.183	0.067	0.110	0.500	0.250
Fm	0.035	0.000	0.000	0.022	0.028	0.000	0.000	0.000	0.000	0.028	0.036	0.000	0.000	0.107	0.000	0.000
Mo	0.045	0.044	0.000	0.028	0.031	0.000	0.028	0.100	0.000	0.014	0.000	0.000	0.200	0.000	0.000	0.000
Sc	0.042	0.112	0.038	0.000	0.056	0.056	0.015	0.000	0.000	0.081	0.000	0.142	0.000	0.117	0.000	0.000
Ps	0.014	0.000	0.038	0.009	0.051	0.056	0.018	0.000	0.133	0.071	0.083	0.042	0.000	0.016	0.000	0.000
Cc	0.037	0.000	0.000	0.009	0.021	0.000	0.000	0.000	0.000	0.036	0.048	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000

3. Transition matrix between the species belonging to the third layer, 10≤DBH<20 cm and to the fourth layer, height≥2 m and DBH<10 cm.

i \ j	Gap	*Be*	*Tc*	*Am*	*As*	*Ul*	*Pj*	*Tm*	*Kp*	*Pa*	*Sc*	*Ps*	*Sh*	*Cc*
Gap	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
Be	0.029	0.095	0.092	0.089	0.127	0.196	0.062	0.056	0.079	0.031	0.053	0.063	0.160	0.000
Tc	0.000	0.011	0.037	0.010	0.026	0.007	0.000	0.000	0.000	0.031	0.012	0.063	0.000	0.000
Am	0.130	0.070	0.126	0.175	0.190	0.198	0.239	0.071	0.304	0.291	0.205	0.271	0.153	0.500
As	0.214	0.182	0.148	0.178	0.209	0.045	0.113	0.031	0.240	0.083	0.165	0.167	0.138	0.313
Ul	0.000	0.004	0.000	0.016	0.007	0.083	0.010	0.000	0.000	0.022	0.000	0.000	0.000	0.000
Pj	0.143	0.146	0.200	0.074	0.126	0.037	0.195	0.031	0.219	0.093	0.161	0.000	0.094	0.063
Tm	0.118	0.036	0.035	0.086	0.017	0.033	0.068	0.701	0.000	0.004	0.093	0.271	0.000	0.000
Kp	0.000	0.009	0.000	0.000	0.000	0.000	0.006	0.000	0.000	0.043	0.000	0.000	0.000	0.000
Pa	0.248	0.252	0.266	0.227	0.189	0.269	0.187	0.094	0.079	0.313	0.089	0.104	0.346	0.063
Sc	0.000	0.013	0.000	0.013	0.022	0.024	0.042	0.000	0.000	0.009	0.042	0.000	0.021	0.000
Ps	0.029	0.120	0.042	0.000	0.032	0.078	0.049	0.000	0.000	0.018	0.130	0.000	0.008	0.063
Sh	0.000	0.000	0.055	0.028	0.022	0.018	0.010	0.000	0.000	0.030	0.043	0.000	0.047	0.000
Cc	0.088	0.060	0.000	0.104	0.034	0.011	0.019	0.016	0.079	0.033	0.006	0.063	0.034	0.000

表 6. 階層性および林冠の水平拡大を適用した種交代行列.
Table 6. Replacement probability incorporating the spatial expansion of the canopy between the species in the different vertical layers.

(Type-1)
Transition matrix between the species belonging to the first layer, DBH≥40 cm and to the second layer, 10≤DBH<40 cm.

i \ *j*	Gap	*Be*	*Tc*	*Am*	*As*	*Ul*	*Pj*	*Qm*	*Tm*	*Kp*
Gap	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
Be	0.100	0.000	0.071	0.107	0.100	0.000	0.000	0.267	0.000	0.000
Tc	0.054	0.000	0.014	0.500	0.069	0.167	0.100	0.000	0.000	0.143
Am	0.154	0.000	0.065	0.000	0.228	0.333	0.125	0.200	0.000	0.000
As	0.324	0.600	0.433	0.321	0.213	0.167	0.325	0.533	0.375	0.571
Ul	0.075	0.400	0.125	0.000	0.158	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
Pj	0.162	0.000	0.111	0.000	0.162	0.333	0.383	0.000	0.250	0.286
Qm	0.020	0.000	0.000	0.071	0.020	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
Tm	0.049	0.000	0.111	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.375	0.000
Kp	0.062	0.000	0.069	0.000	0.050	0.000	0.067	0.000	0.000	0.000

(Type-2)
Transition matrix between the species belonging to the first layer, DBH>40 cm and to the second layer, 10≤DBH<40 cm.

i \ *j*	Gap	*Be*	*Tc*	*Am*	*As*	*Ul*	*Pj*	*Qm*	*Tm*	*Kp*
Gap	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
Be	0.093	0.000	0.052	0.047	0.095	0.000	0.000	0.167	0.000	0.000
Tc	0.102	0.000	0.014	0.500	0.097	0.333	0.250	0.000	0.000	0.250
Am	0.131	0.000	0.087	0.000	0.232	0.167	0.125	0.500	0.000	0.000
As	0.333	0.750	0.458	0.328	0.161	0.333	0.250	0.333	0.375	0.625
Ul	0.066	0.250	0.111	0.000	0.167	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
Pj	0.147	0.000	0.125	0.000	0.111	0.167	0.333	0.000	0.250	0.125
Qm	0.026	0.000	0.000	0.125	0.013	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
Tm	0.053	0.000	0.056	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.375	0.000
Kp	0.050	0.000	0.097	0.000	0.125	0.000	0.042	0.000	0.000	0.000

(Type-3)
Transition matrix between the species belonging to the first layer, DBH>40 cm and to the second layer, 10≤DBH<40 cm.

i \ *j*	Gap	*Be*	*Tc*	*Am*	*As*	*Ul*	*Pj*	*Qm*	*Tm*	*Kp*
Gap	0.000	0.000	0.000	0.500	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
Be	0.110	0.000	0.083	0.150	0.108	0.000	0.000	0.267	0.000	0.000
Tc	0.017	0.000	0.014	0.000	0.033	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
Am	0.173	0.000	0.069	0.000	0.236	0.500	0.125	0.200	0.000	0.000
As	0.301	0.500	0.417	0.250	0.225	0.000	0.375	0.533	0.375	0.500
Ul	0.086	0.500	0.142	0.000	0.165	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
Pj	0.164	0.000	0.089	0.000	0.164	0.500	0.417	0.000	0.250	0.500
Qm	0.020	0.000	0.000	0.100	0.020	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
Tm	0.057	0.000	0.111	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.375	0.000
Kp	0.071	0.000	0.075	0.000	0.050	0.000	0.083	0.000	0.000	0.000

表7. 各モデルによって予測された種多様度と優占種.

Table 7. Simulation results of the species diversity, Shannon-Wiener function, and the dominant species in each model.

	Model-0	Model-1		Model-2		
	>10cm	>40cm	>10cm	>40cm	>20cm	>10cm
Diversity(H')	2.29 *As*	1.82 *As*,Gap	2.32 *As*	1.82 *As*	2.34 *As*	2.22 *As*,*Pa*
Type-0	2.30 *Am*,*Pa*	1.20 *As*,*Pj*	2.29 *Pa*,*Am*	1.41 *Pj*,*As*	2.23 *Pa*,*As*	2.15 *Pa*,*Am*
Type-1 (e_i=0.25)	2.38 *As*,*Am*	1.88 *As*,*Pj*				
Type-2 (e_i=1.00)	2.36 *As*,*Pa*,*Am*	1.88 *As*,*Tc*				
Type-3 (e_i=0 / 0.25)	2.38 *Am*,*Pa*	1.77 *As*,*Pj*				

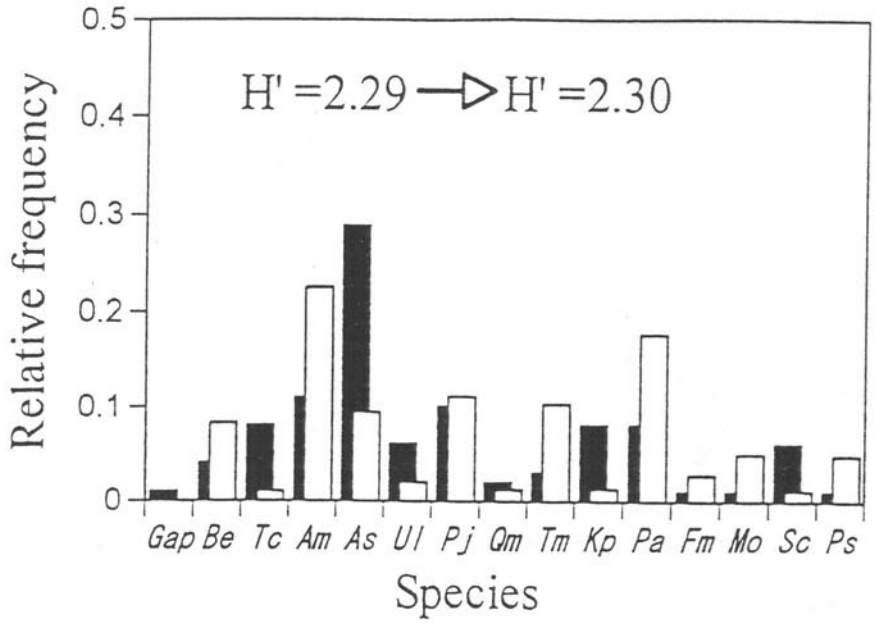

図1. 交代行列モデルによる林冠種組成(DBH≥10cm)のシミュレーション. H' はシャノン・ウィナー関数.

Fig.1 Simulation of relative dominance of the species in the canopy layer (DBH≥10cm) based on the Markovian replacement model. H' shows the Shannon-Wiener function. Black and white parts show the observed and simulated abundance, respectively.

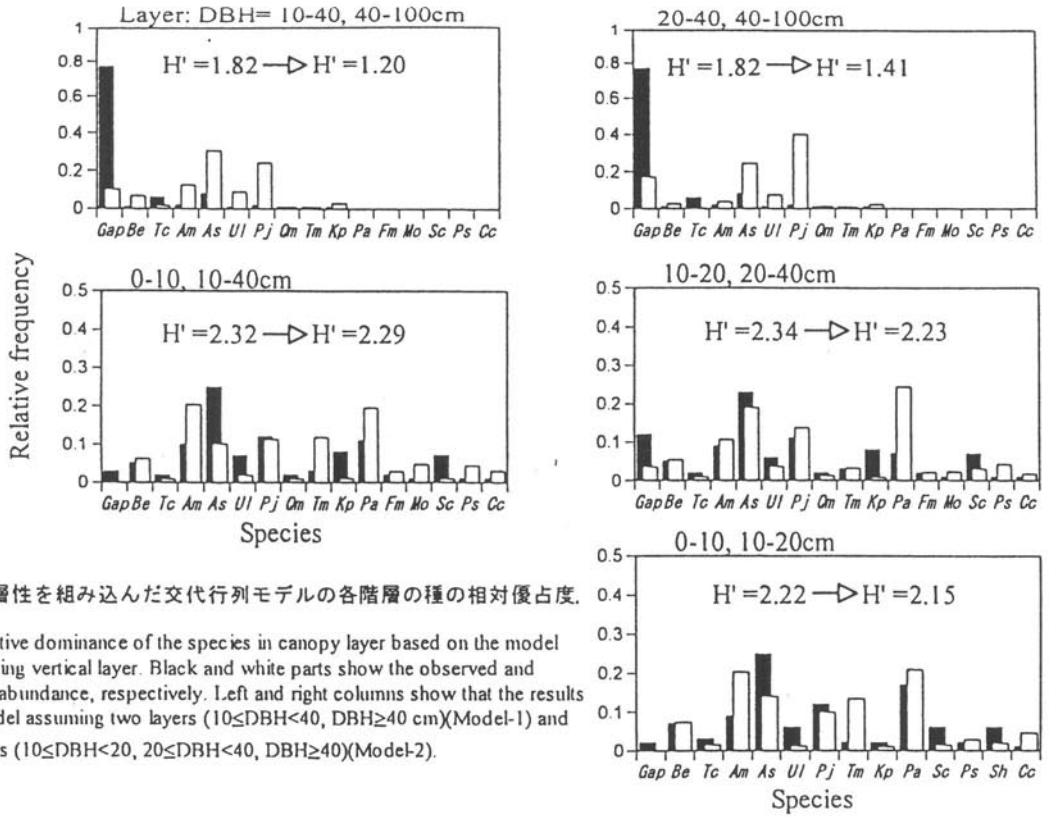

図2. 階層性を組み込んだ交代行列モデルの各階層の種の相対優占度.

Fig.2 Relative dominance of the species in canopy layer based on the model incorporating vertical layer. Black and white parts show the observed and simulated abundance, respectively. Left and right columns show that the results of the model assuming two layers (10≤DBH<40, DBH≥40 cm)(Model-1) and three layers (10≤DBH<20, 20≤DBH<40, DBH≥40)(Model-2).

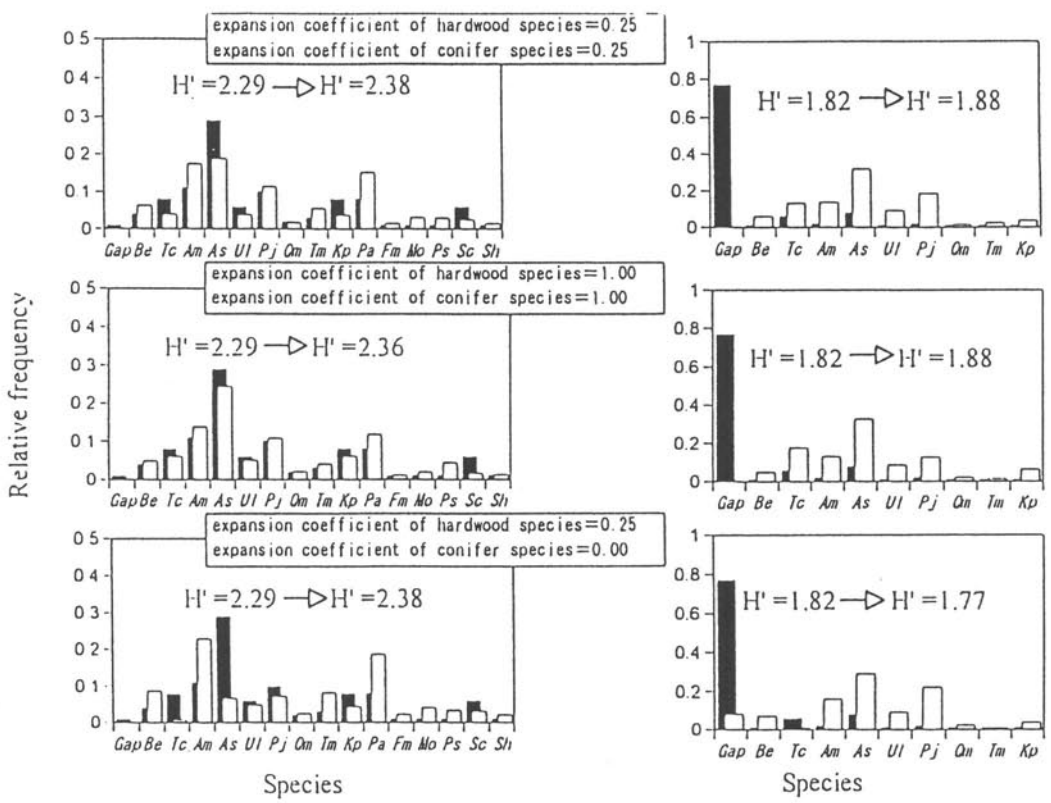

図3. 林冠の階層構造と水平拡大を適用した交代行列モデルの各階層における種の相対優占度.

Fig.3 Relative dominance of the species in canopy layar based on the Markovian replacement model incorporating vertical layer and spatial expansion of the canopy (DBH≥10cm) in each neighboring grid. Black and white parts show the observed and simulated abundance, respectively. Left and right columns show that the results of the vertical layers, DBH≥ 10 cm in Model-0 and DBH≥ 40 cm in Model-1, respectively.

引用文献

Horn H. S. (1975) Markovian properties of forest succession. In: Ecology and evolution of communities (eds. Cody, M. L. & Diamond, J.) pp196-211. Belknap Press, Cambridge.

巌佐庸(1990)「数理生物学入門」pp293-294. ＨＢＪ出版局.

Masaki T., Suzuki W., Niiyama K., Iida S. & Nakashizuka T. (1992) Community structure of a species-rich temperate forest, Ogawa Forest Reserve, central Japan. Vegetatio 98: 97-111.

Midgley J. J., Cameron M. C. & Bond W. J. (1995) Characteristics and replacement patterns in the Knysna Forest, South Africa. Journal of Vegetation Science 6: 29-36.

久保田康裕・丹羽真一・渡辺修・丸山立一・玉木良枝・紺野康夫(1993)知床国立公園における針広混交林の種組成と構造－最大サイズと階層構造が多様性に与える影響－. 日本林学会北海道支部大会論文集 41: 205-207.

久保田康裕・渡辺展之・渡辺　修・紺野康夫(1994)十勝川源流部原生自然環境保全地域における北方森林群集のサイズ構造と林分の更新過程. 十勝川源流部原生自然環境保全地域調査報告書: 3-16.

丹羽真一・渡辺修・久保田康裕・渡辺展之・小林千穂(1993)針広混交林の階層構造と多様性の関係. 日本生態学会大会講演要旨集 40: 214.