

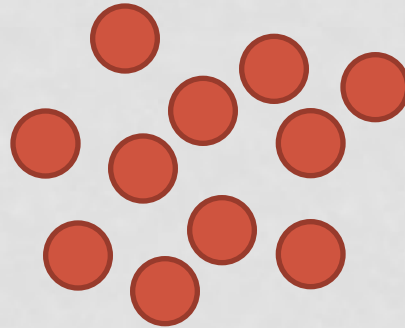
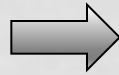
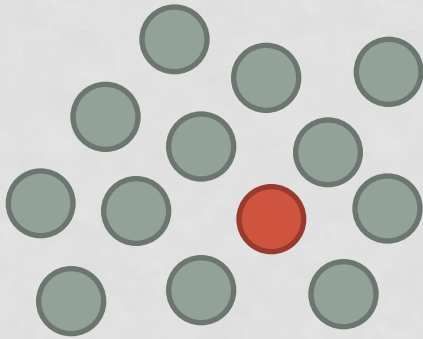
第3回：集団遺伝学でみる島での進化

第4回：ガラパゴスの環境

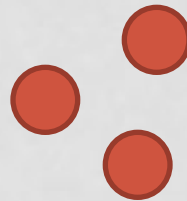
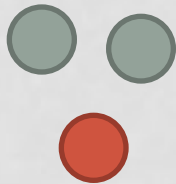


集団遺伝学とは

集団の中にある遺伝子が広がったり消えたりするプロセスを
いろいろな要素を考慮して数学的モデルを構築する学問



大きな集団
長い時間がかかる



小さい集団
短時間で広がる

大陸島と海洋島

- 大陸島：

大陸周辺に位置し、過去に陸続きになったことがある島

→地続きだった時代に大陸の動植物が陸伝いに進出、

生物相はほぼ大陸と共通

ex. 日本列島、琉球列島、台湾など

- 海洋島：

海洋中に島が成立して以来、一度も大陸と陸続きになったことがない島

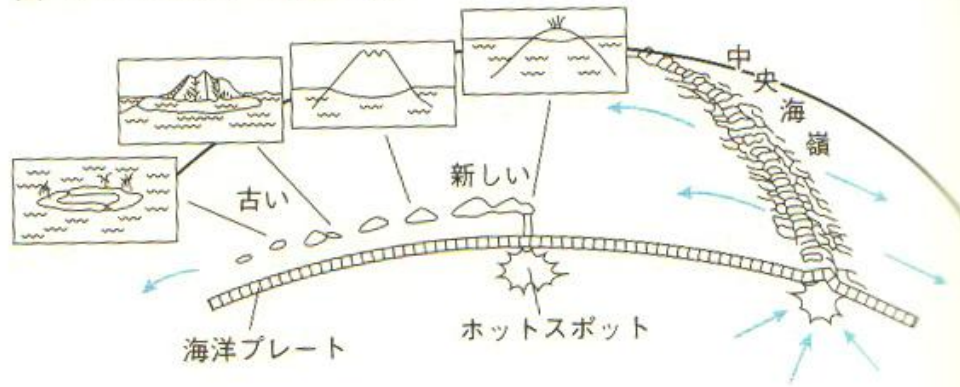
→海を乗り越えて到達した限られた動植物が祖先となり、

独自の生物相をつくる

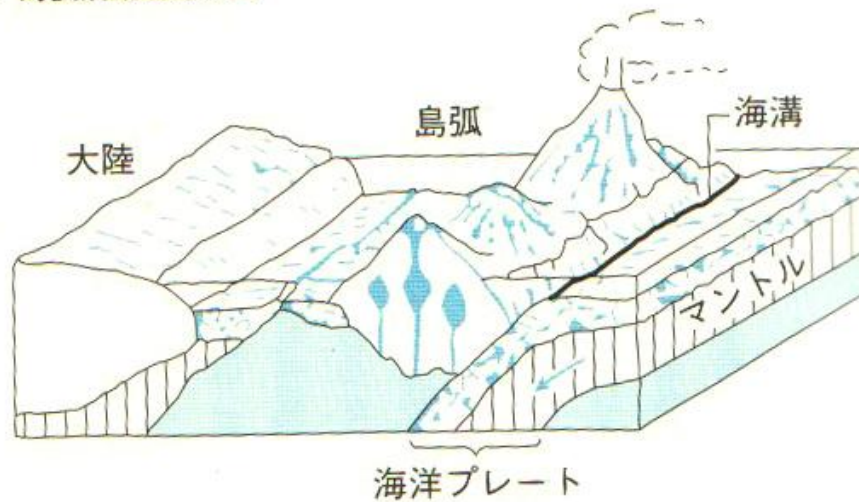
ex. ハワイ諸島、ガラパゴス諸島、小笠原諸島

海洋島の成立

(a) ホットスポット起源の島



(b) 島弧活動起源の島



• ホットスポット起源

海洋中でマグマを吹きだしている点。プレートの移動に伴って島も移動し、群島をなす。

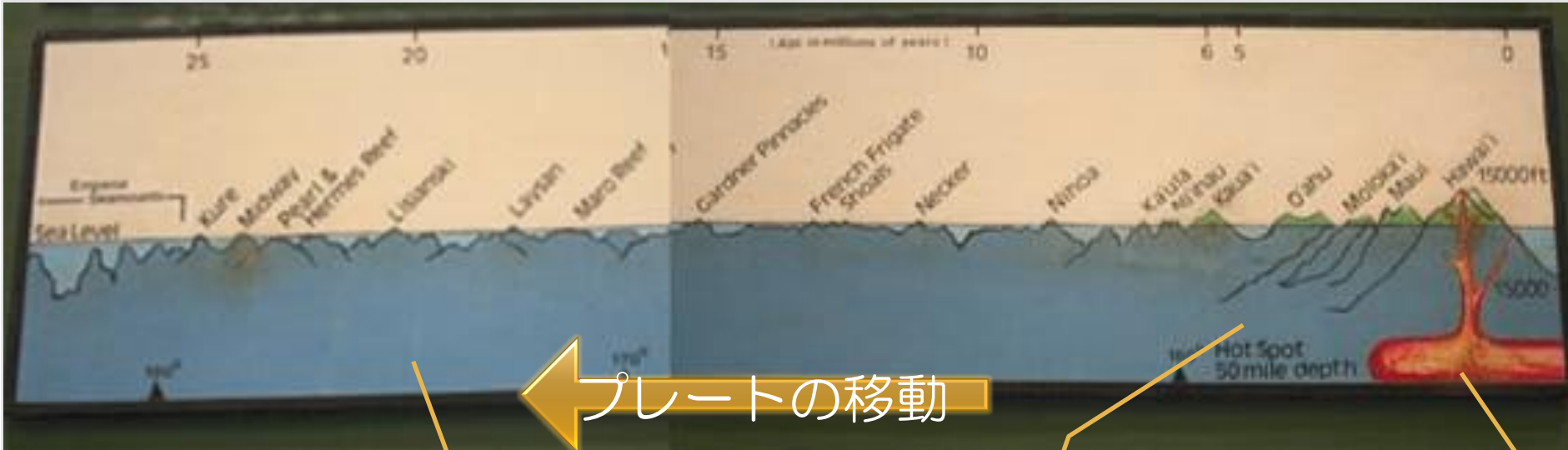
ハワイ、ガラパゴスなど

• 島弧活動起源

海洋プレートが海溝に沈み込む場所で生じる。海溝に並行に列をなす。

小笠原など

海洋島の一生



既に海底に没する
(天皇海山列)

徐々に侵食される
(マウイ島、オアフ島
カウアイ島…)
最も古い島：500万年

ホットスポット
現在噴火中
(ハワイ島)

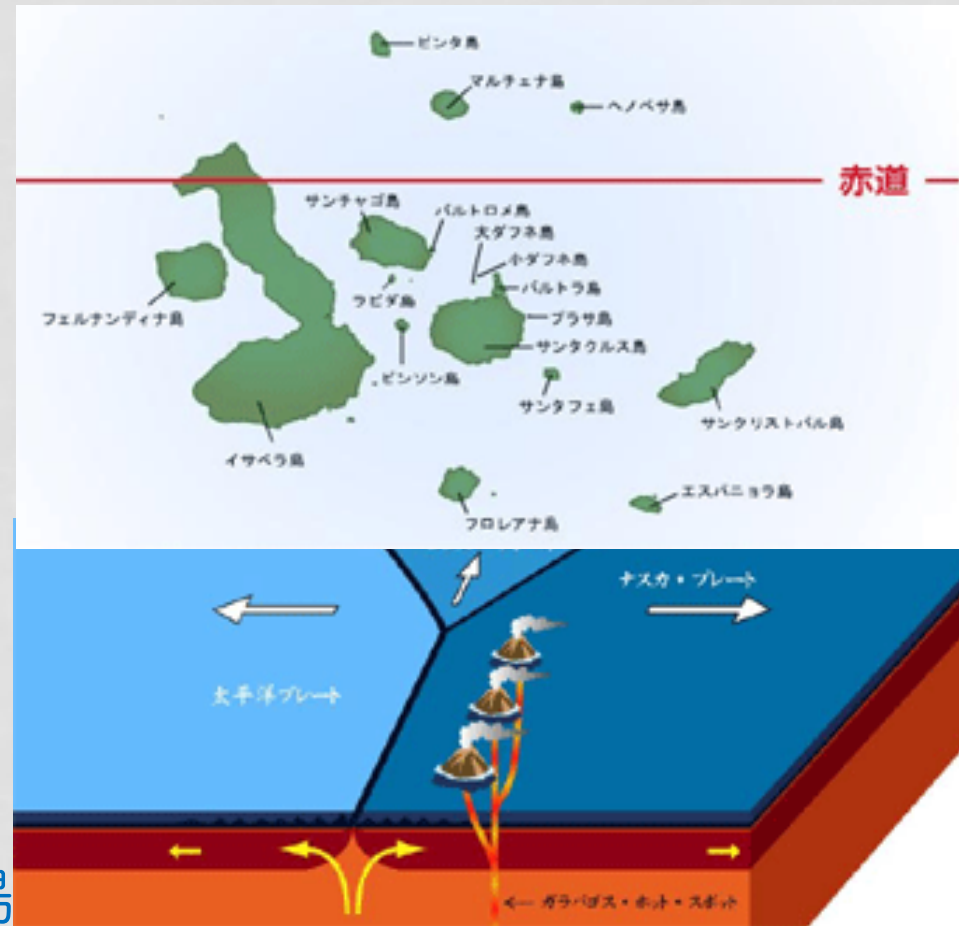
• ハワイ諸島の例



カウアイ島（500万年）

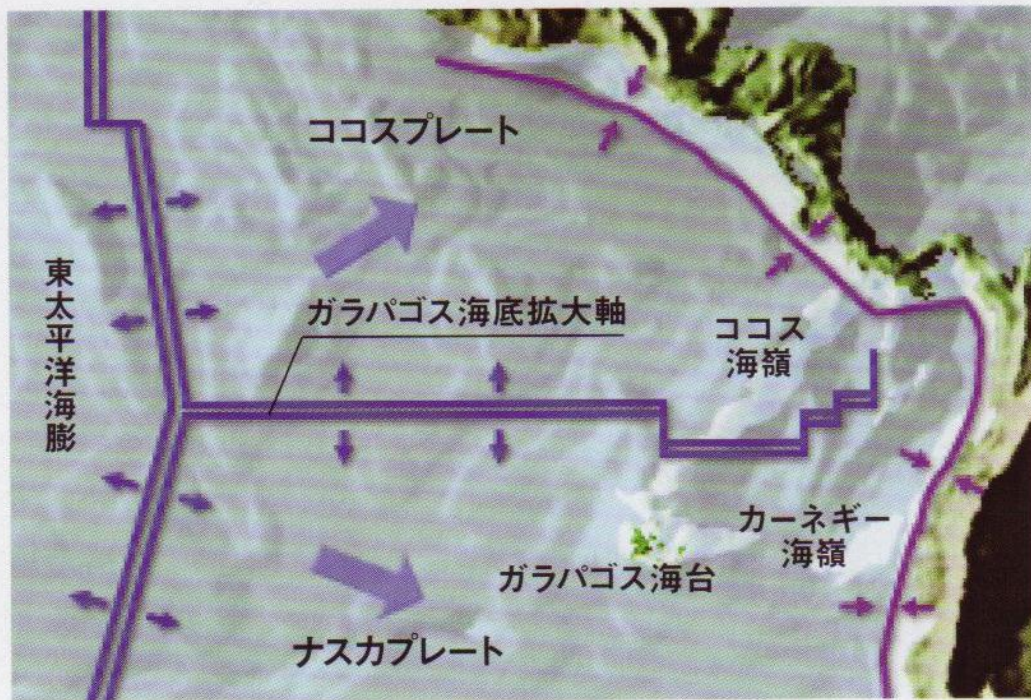
ハワイ島（噴火中）

ガラパゴス諸島（エクアドル共和国）

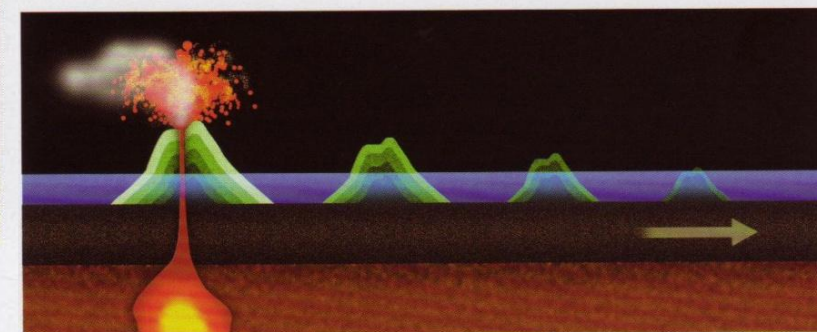
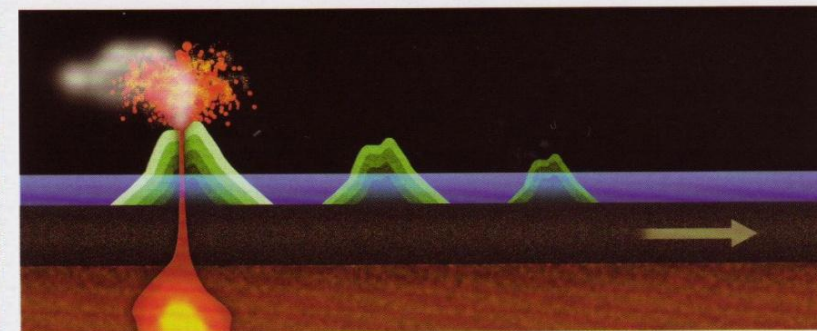
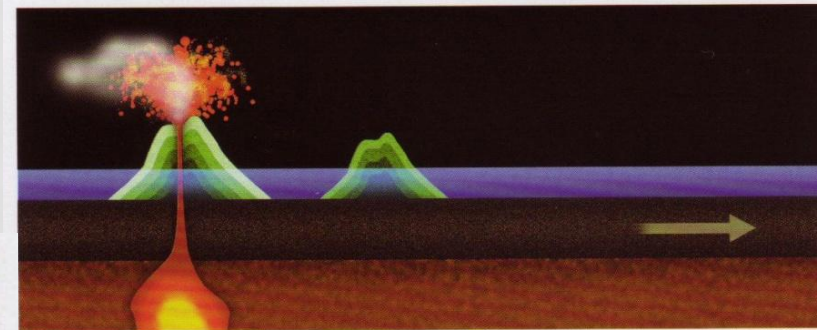


- 南米大陸から赤道に沿って西に約1000km
- 13の主要な島と100以上の小さな島（群島）
- ホットスポット由来の海洋島
- 成立年代によって環境が大きく異なる

ホットスポットと プレートの移動



(Holden & Dietz, 1972 より)



海洋島の特徴

「生物進化の実験場」

- 隔離されている
- 面積が小さい
- 島ごと／島の中に多様な環境がある
- 競争相手が少ない

...

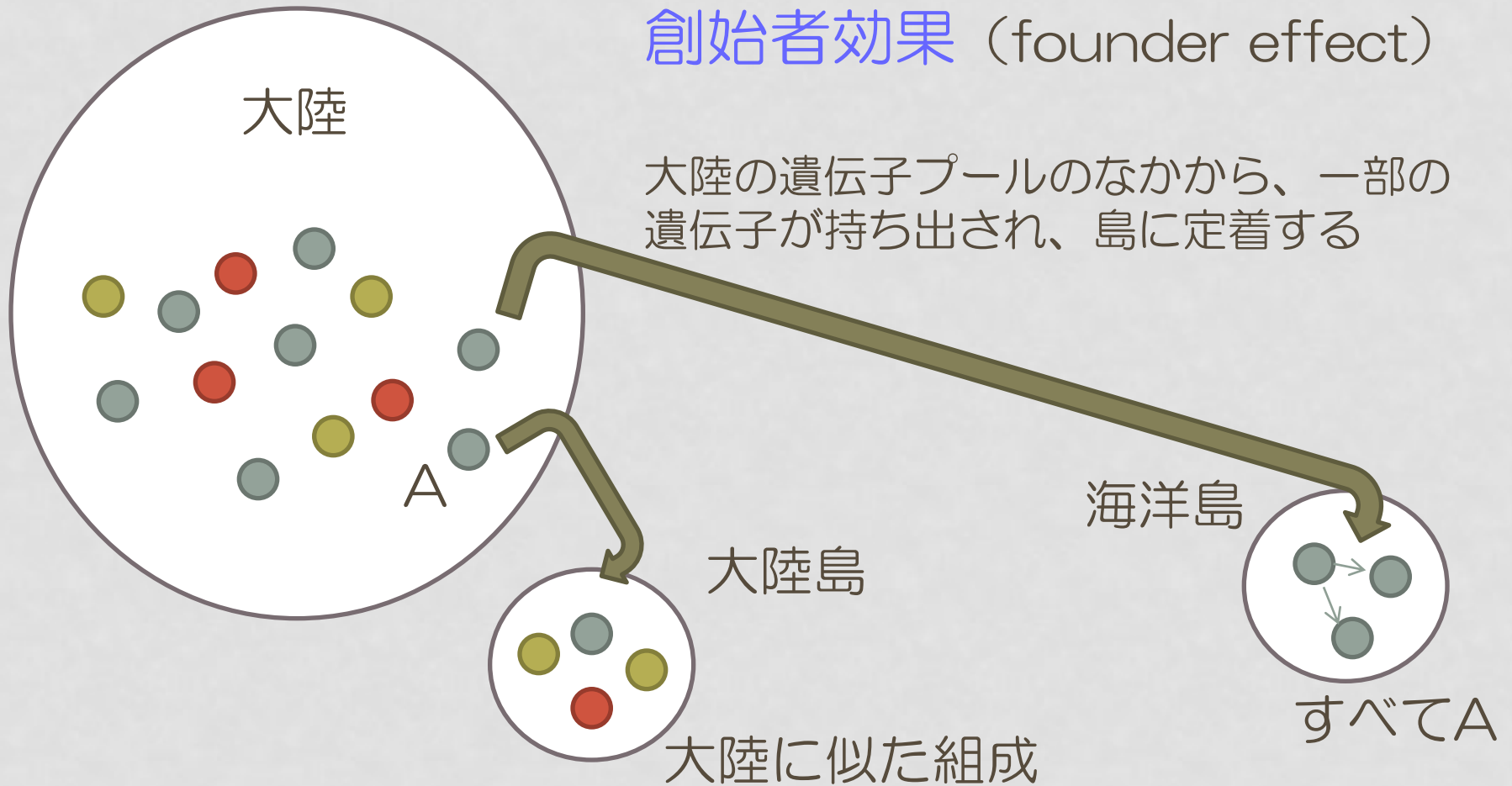
進化のメカニズム

1. 集団ができるとき（創始者効果）…移入と定着
2. 集団が急速に拡大していくとき（適応放散）
3. 集団が緩やかに拡大するとき…多様性の蓄積
4. 集団に自然選択がはたらくとき
5. 集団が隔離されるとき…遺伝子流動と遺伝的浮動
6. 集団が急に小さくなる時（ボトルネック効果）

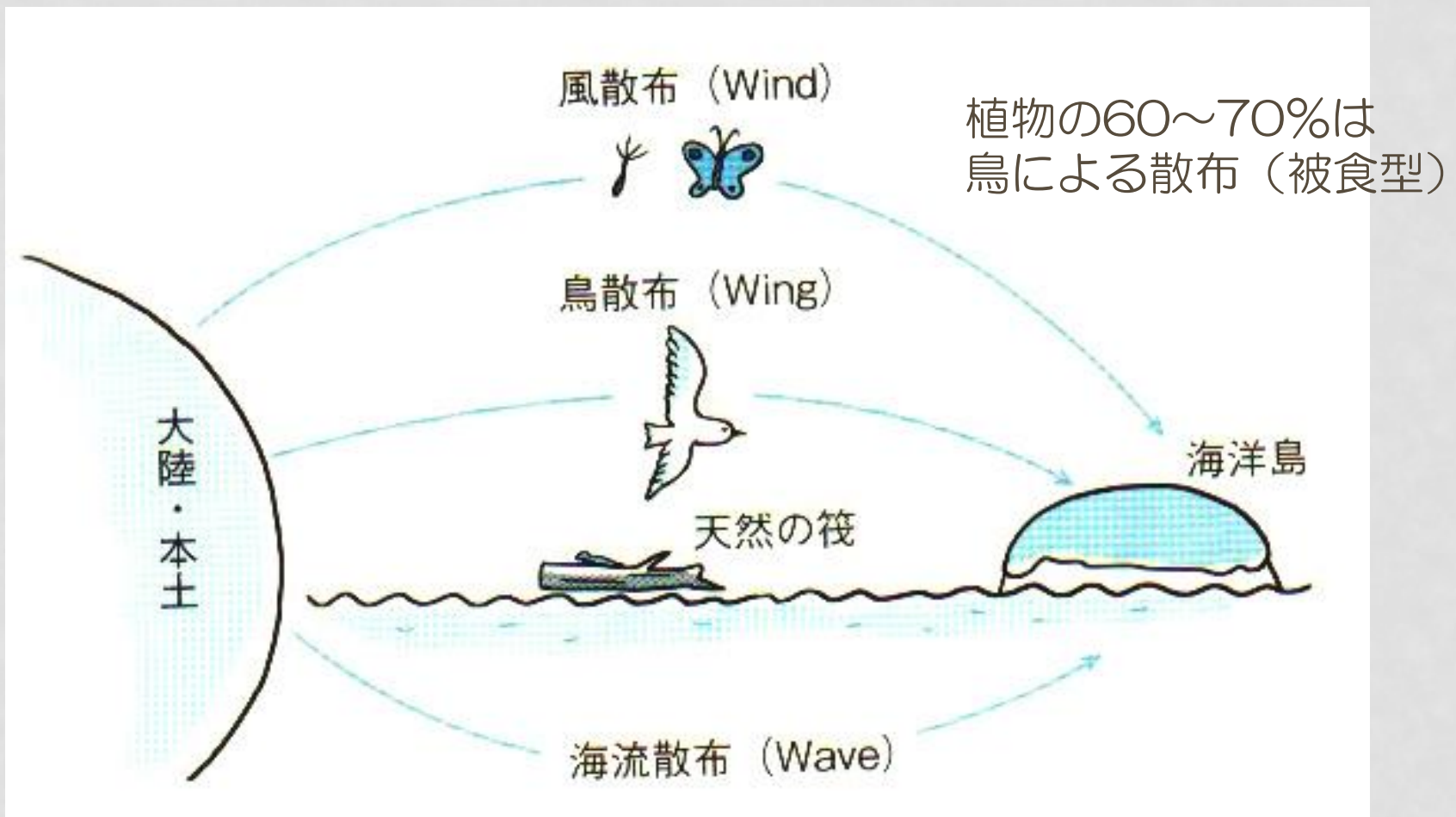
(1) 集団ができるとき

創始者効果 (founder effect)

大陸の遺伝子プールのなかから、一部の遺伝子が持ち出され、島に定着する



海洋島における生物の移入経路



長距離散布…3W (Wind, Wing, Wave)

島への定着の困難さ

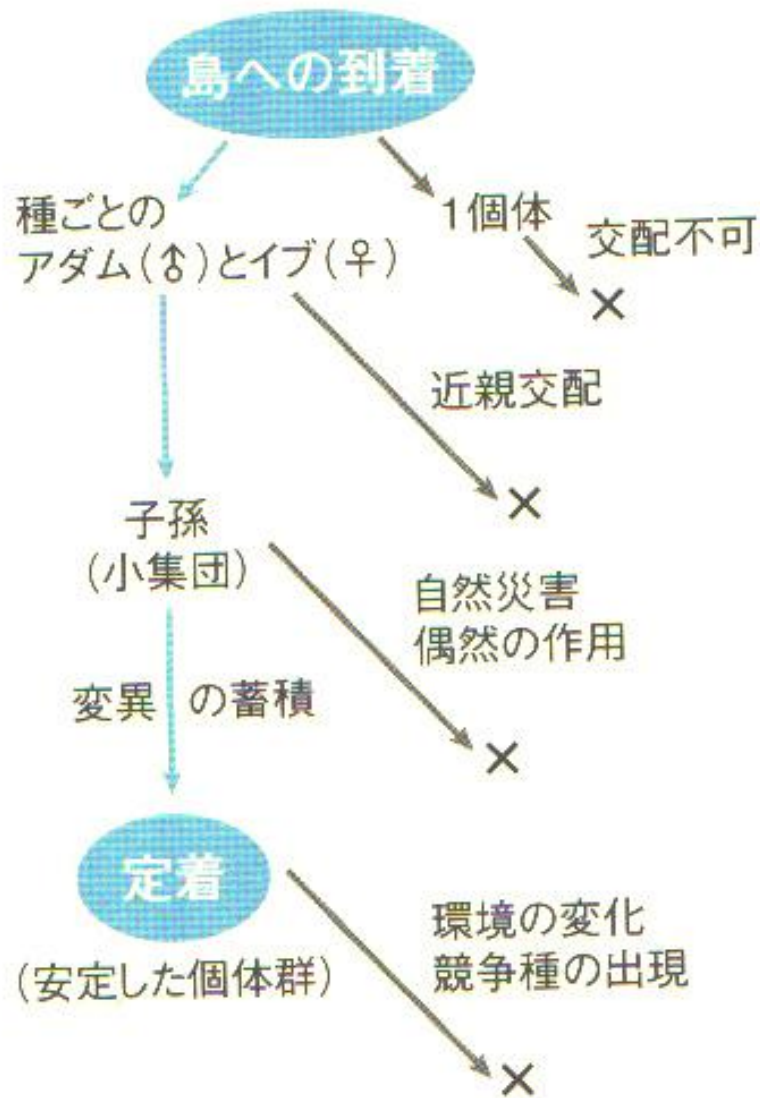
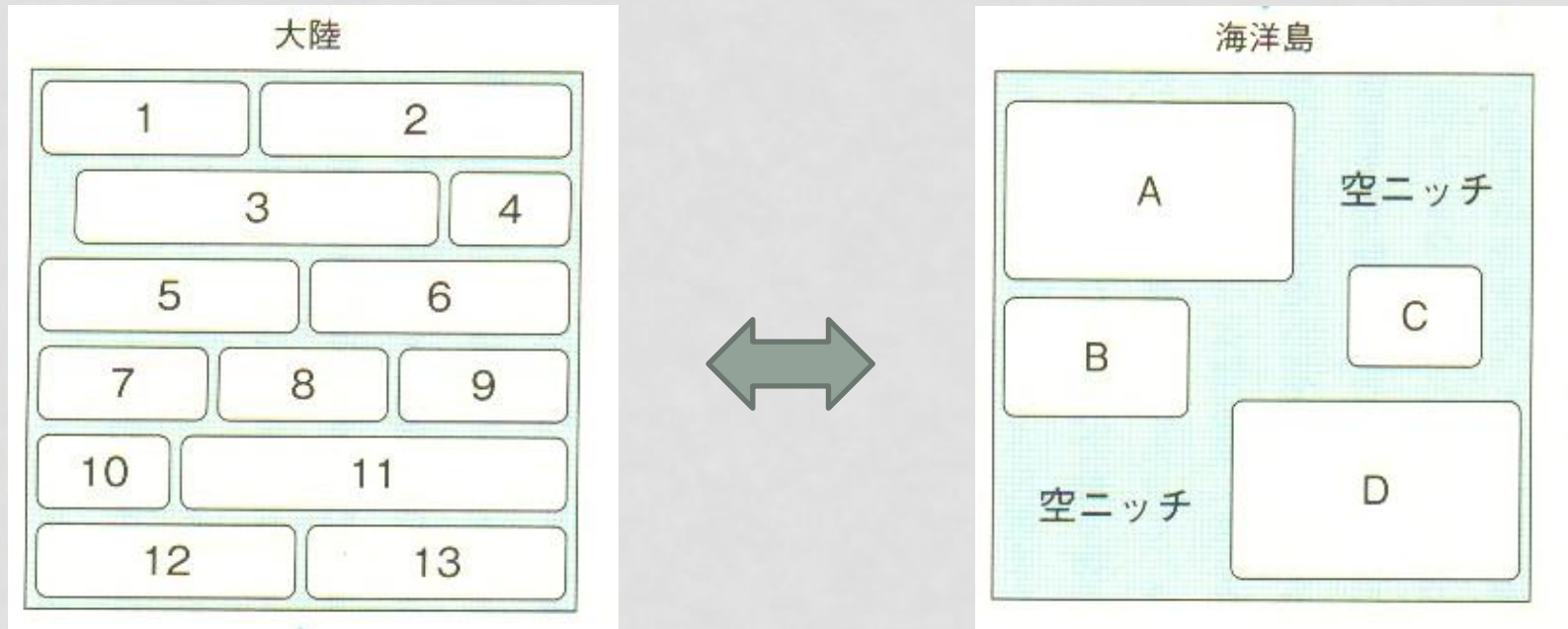


図1-5
定着の困難さ

(2) 集団が急速に拡大していくとき













• ニッチ理論：

空いたニッチへ進出することで生態的地位を拡大する

⇒ 適応放散 ex. スカレシア、フィンチ、...

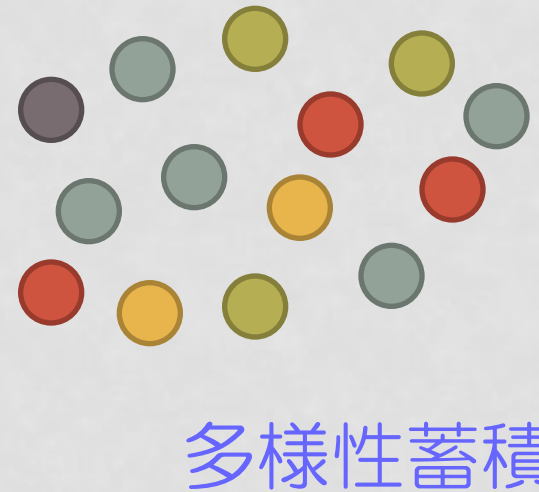
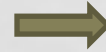
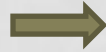
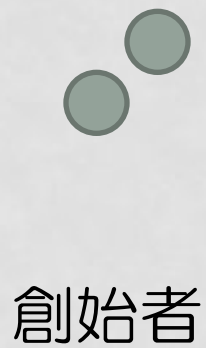
例) ガラパゴスフィンチ

オオガラパゴスフィンチ	コガラパゴスフィンチ	サボテンフィンチ	ムシクイフィンチ	オオダーウィンフィンチ
				
				
固い木の実を食べる。	小さな種子を食べる。	サボテンの蜜を吸う。	小さな昆虫類を食べる。	大きな昆虫類を食べる。

- 違う食べ物を食べることで生態的地位にすみ分ける「食い分け」

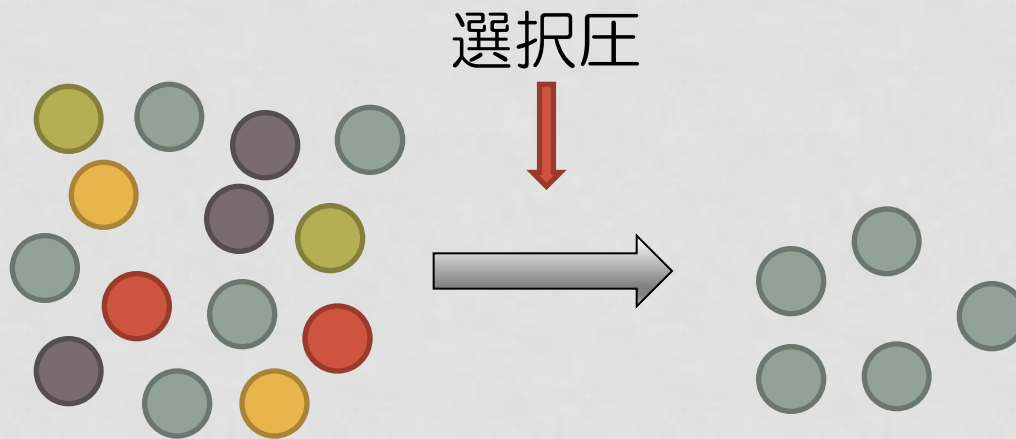


(3) 集団が緩やかに拡大していくとき



(4) 集団に自然選択がはたらくとき

多様性蓄積⇒環境からの選択圧⇒特定の遺伝子構成

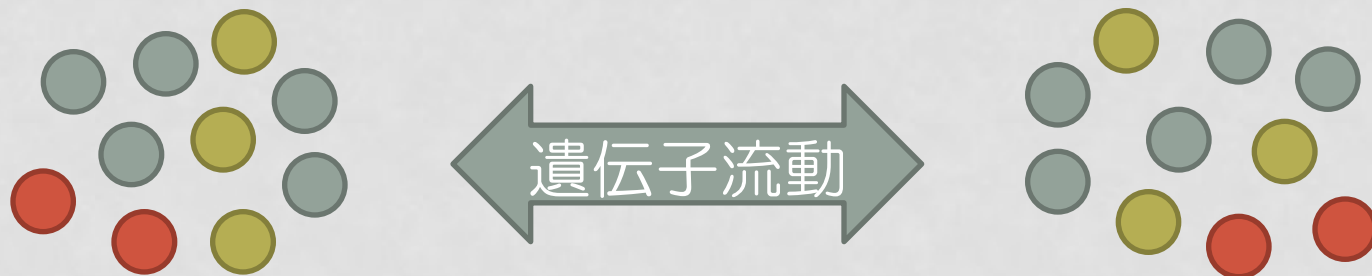


- ：「たまたま環境に適応的だったために」生き残った
- ×：生き残るために進化した（目的論的）

選択の起きる3つのパターン

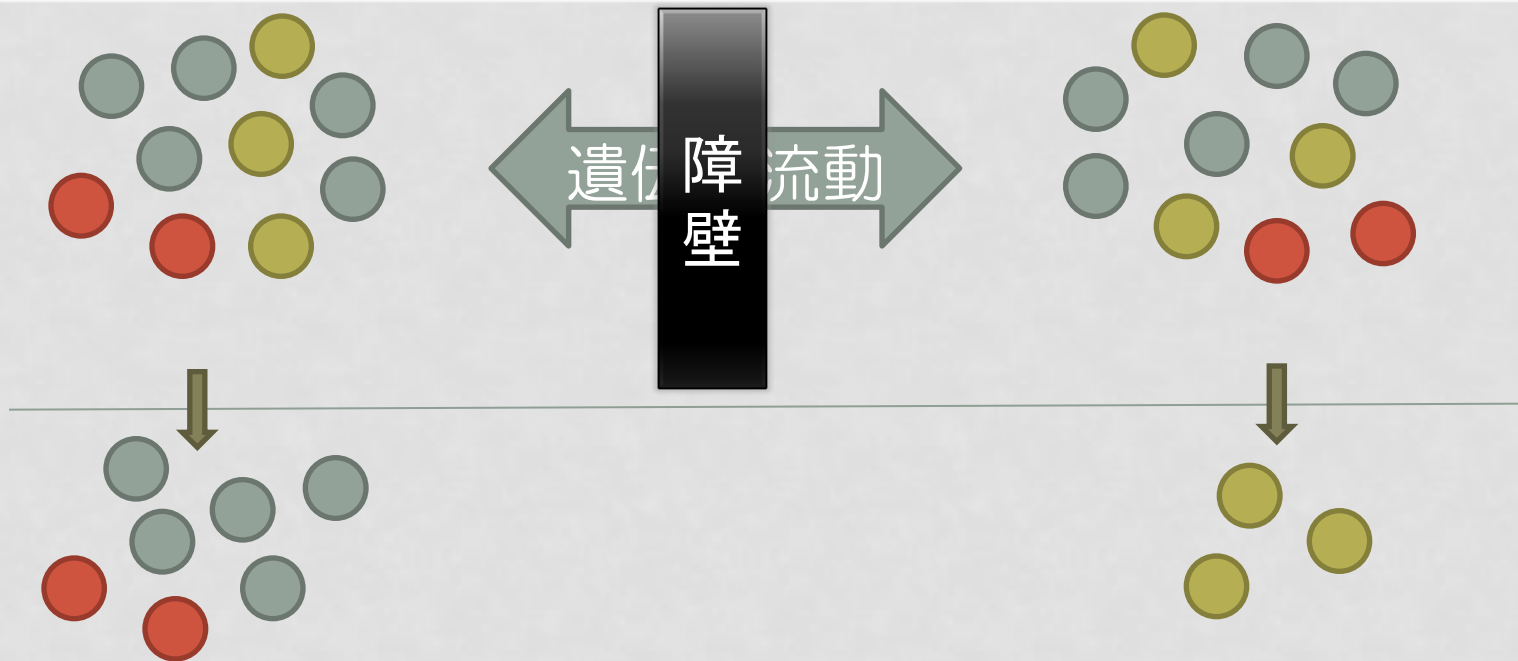
- 安定化選択
- 分断化選択
- 方向性選択

(5) 集団が隔離されるとき



- 集団間に自由な**遺伝子流動**があるとき
それぞれの集団の遺伝的組成は同じ

遺伝子流動の制限



集団間に遺伝子流動の障壁が生じたとき
それぞれの集団はそれぞれのプロセスを経て
異なる遺伝子組成になる⇒**遺伝的浮動**(Genetic drift)
種分化へつながる

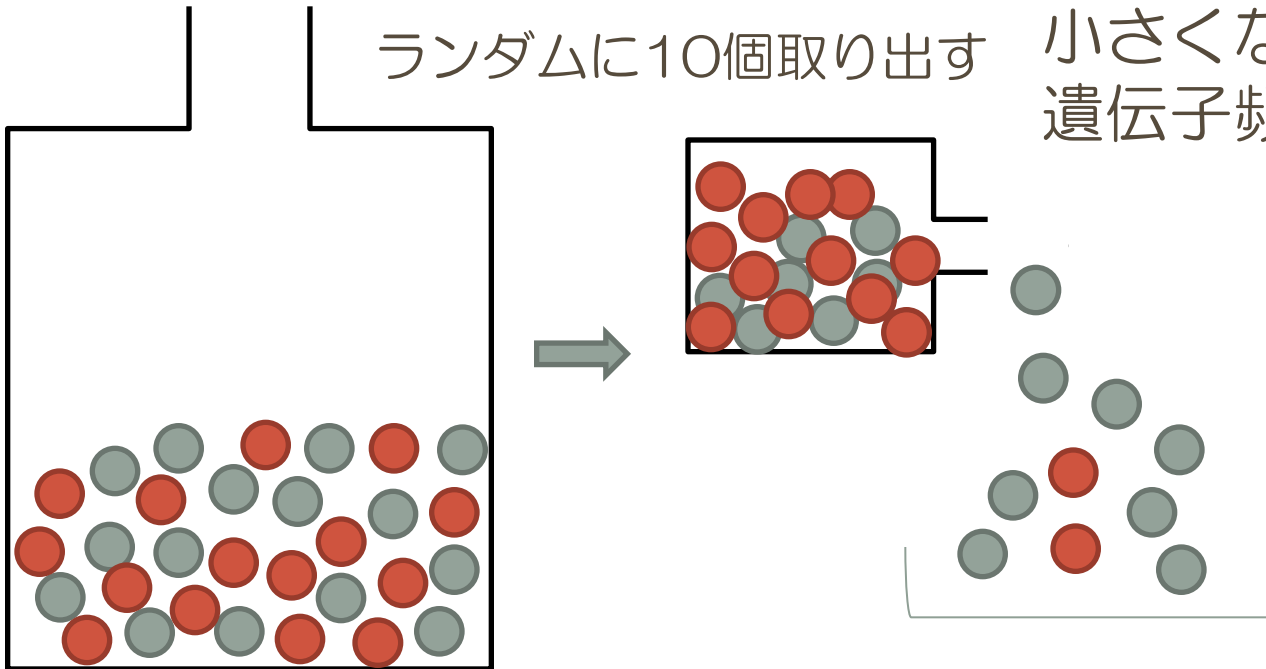
地理的隔離と生殖的隔離

(6) 集団が急に小さくなってしまおうとき

ビン首効果

集団サイズが急激に
小さくなることによって
遺伝子頻度が変化する

ランダムに10個取り出す



$$\text{●} : \text{●} = 15 : 15 \quad (1 : 1)$$

$$\text{●} : \text{●} = 8 : 2 \quad (4 : 1)$$

酔っぱらいのランダムウォーク

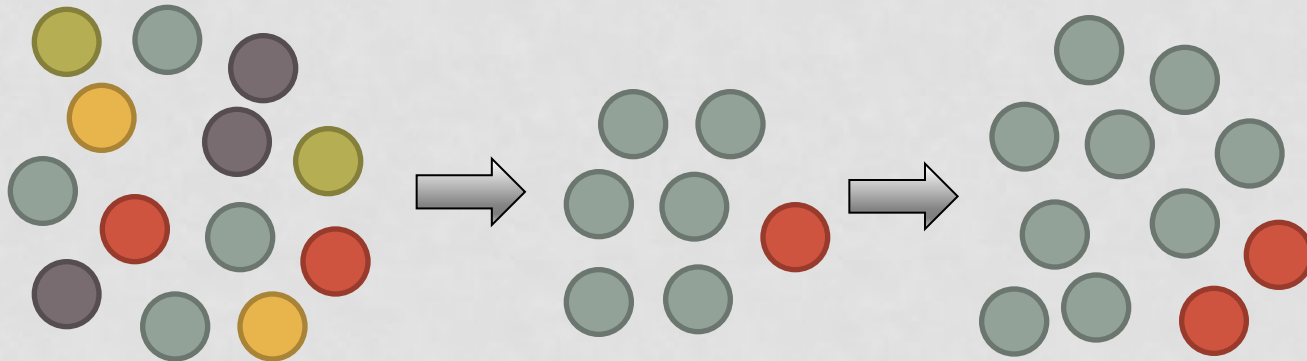
- 集団サイズが小さいと、遺伝的浮動によって簡単に1つの遺伝子型に固定してしまう



遺伝的多様性が低下

遺傳的多様性の喪失

- いったん縮小して遺傳的多様性が失われた集団は、その後個体数が回復しても遺傳的多様性に乏しい集団となる



遺伝的多様性が高いことのメリット

- 更なる進化のきっかけがたくさんある
- 特定の病気や天敵に対して強い
- 近交弱勢（遺伝的に弱い子が生まれる）が起きにくい

＝絶滅する可能性が低い

乾燥に強い遺伝子



虫に喰われにくい遺伝子



栄養が少なくても大丈夫な遺伝子

実をたくさんつける遺伝子

「遺伝子」の多様性

弱い光でも大丈夫な遺伝子



乾燥に強い遺伝子



虫に喰われにくい遺伝子



栄養が少なくても大丈夫な遺伝子

実をたくさんつける遺伝子

気候が変わって大干ばつ！

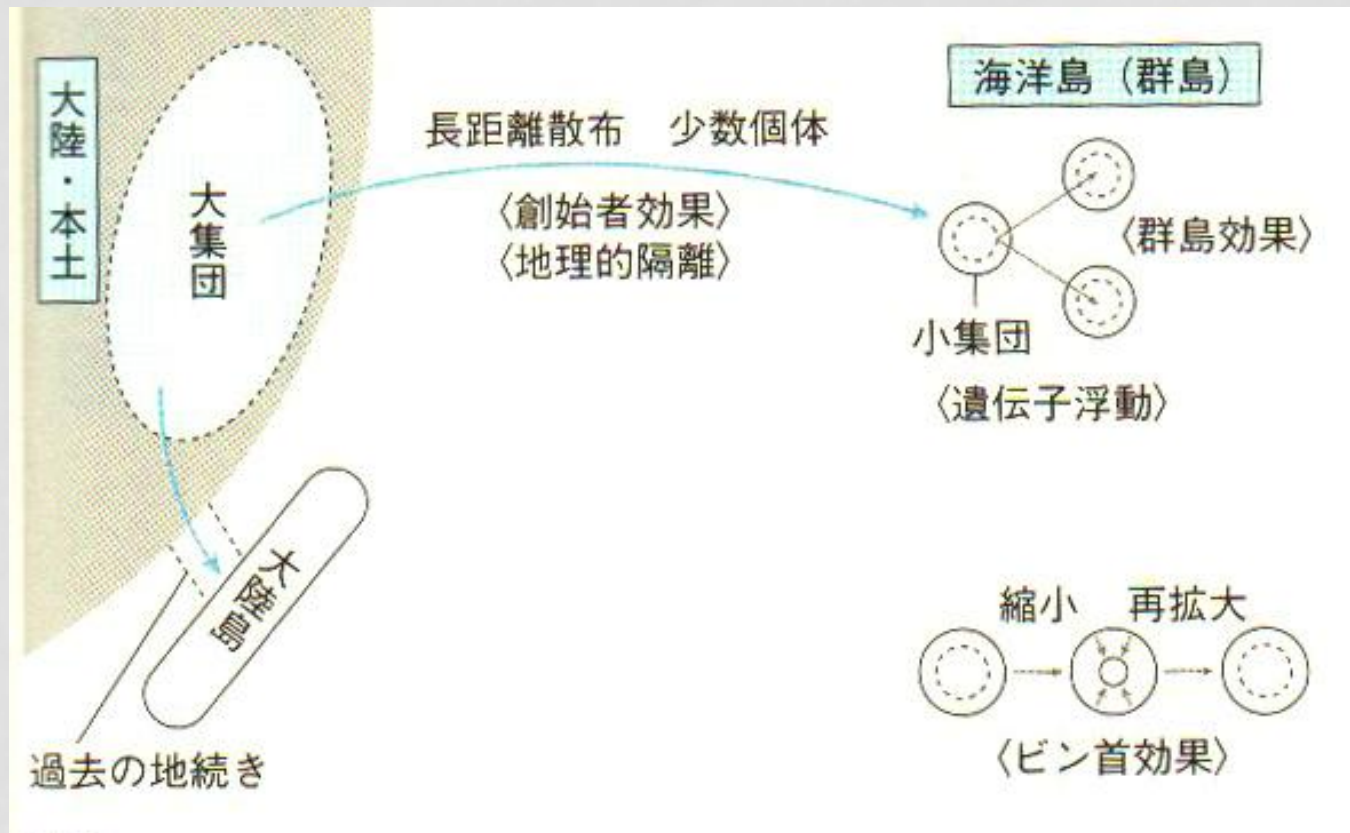
弱い光でも大丈夫な遺伝子



海洋島で進化が促進される要因

- **創始者効果**：創始者がどのような遺伝子を島にもたらしたのかという偶然によって、島の集団の遺伝子組成が決まってしまう現象
- **遺伝的浮動**：少数個体の集団で、集団に生じた突然変異が偶然に左右されて集団に固定されたり取り除かれたりする現象
- **ビン首効果**：集団の個体数が激減した際に残った個体によって遺伝子組成が偏る現象（創始者効果に似る）
- **隔離と種分化**：元集団と切り離されて起こる地理的隔離、島間での異所的種分化、近縁2種間での生殖的隔離、など
- **群島効果**：複数の島でなる群島では、それぞれの島で独立に以上のようなことがおこるので、それだけ孤島に比べて多様な進化が起こりやすいこと

集団は常に変動を続けている



様々なプロセスを経て、独自の生態系を作り上げる

種数と面積の関係

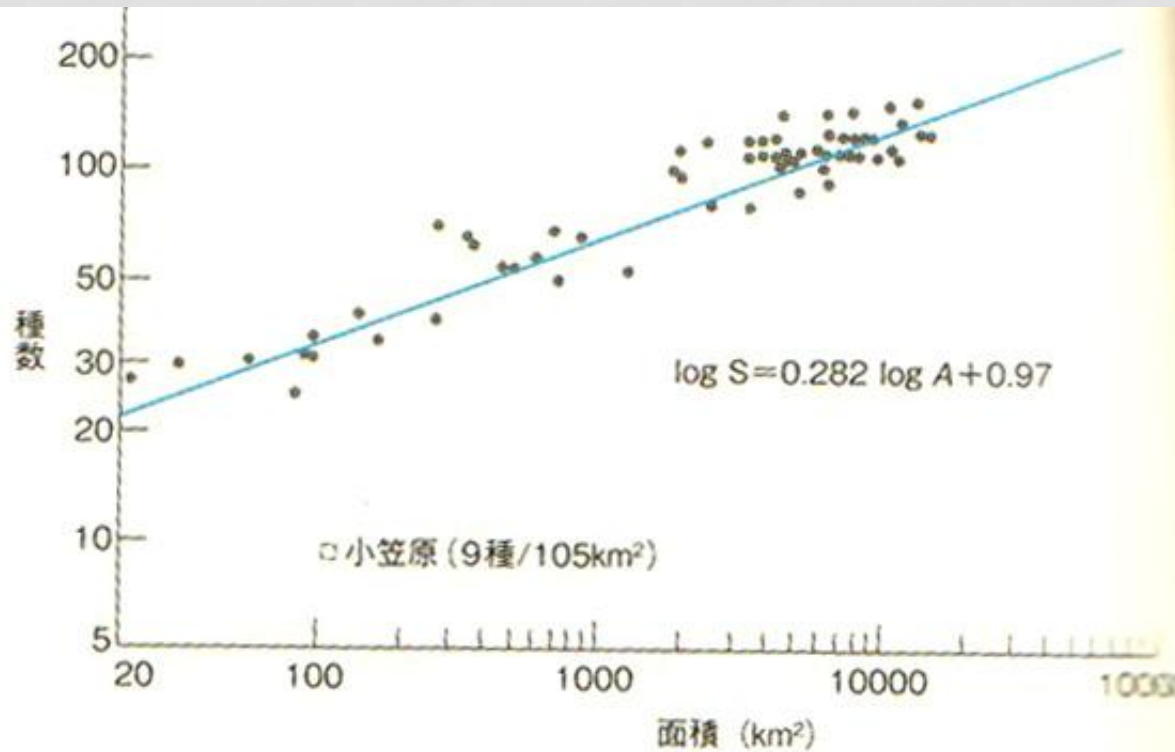


図1-7

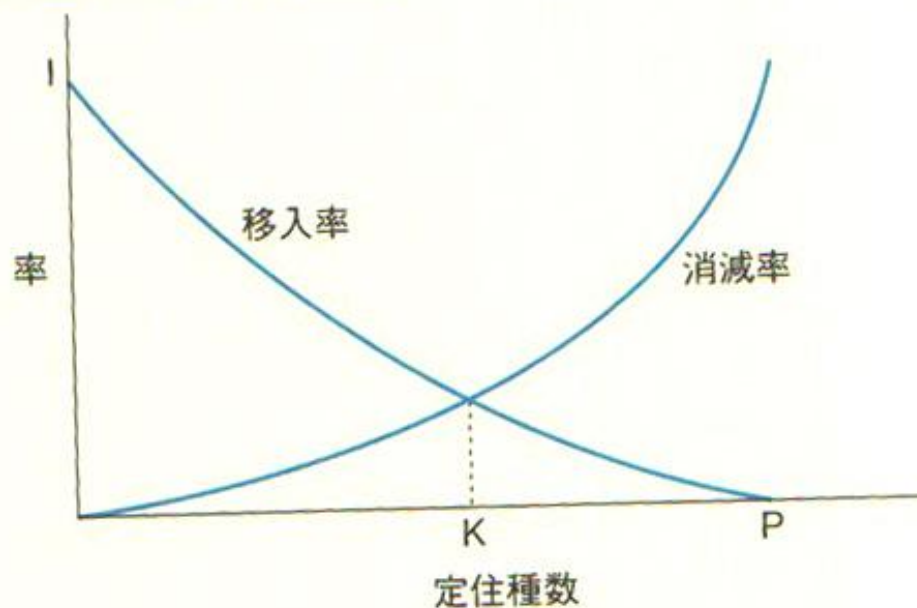
日本のチョウの種数-面積曲線

(『南の島の生きものたち』 木元新作/共立出版 (1979) より)

- 通常「面積が増えるにより多くの種が生息できる」
- 海洋島はその直線上に乗らない

動的平衡説

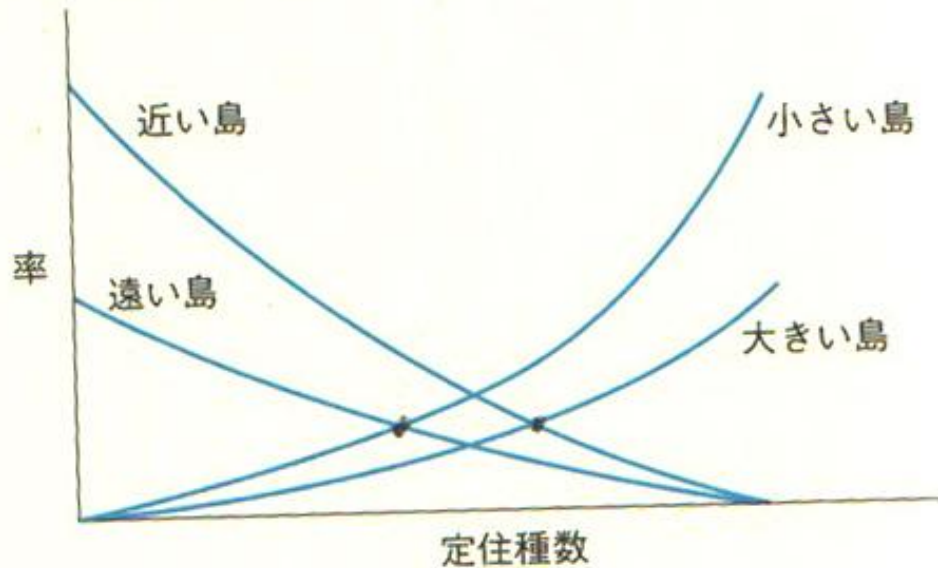
(a) 動的平衡説のモデル図



- 定住種数は移入と消滅のバランスで決まる
 - I：生物のいない島に、単位時間当たり到着する最大の種数
 - P：これ以上新しい生物が到着しない状態（移入100%）
 - K：この島で定着できる種数（安定）

距離と面積の効果

(b) 距離と面積の効果



- 近い島：多くの種が移入
- 遠い島：少ししか移入しない
- 大きい島：消滅率が低い
- 小さい島：消滅率が高い

海洋島では、単に面積
だけで示される種数の
直線上に乗らない
(距離に依存)

ex. 日本列島 (近・大)
 ∨
 小笠原諸島 (遠・小)

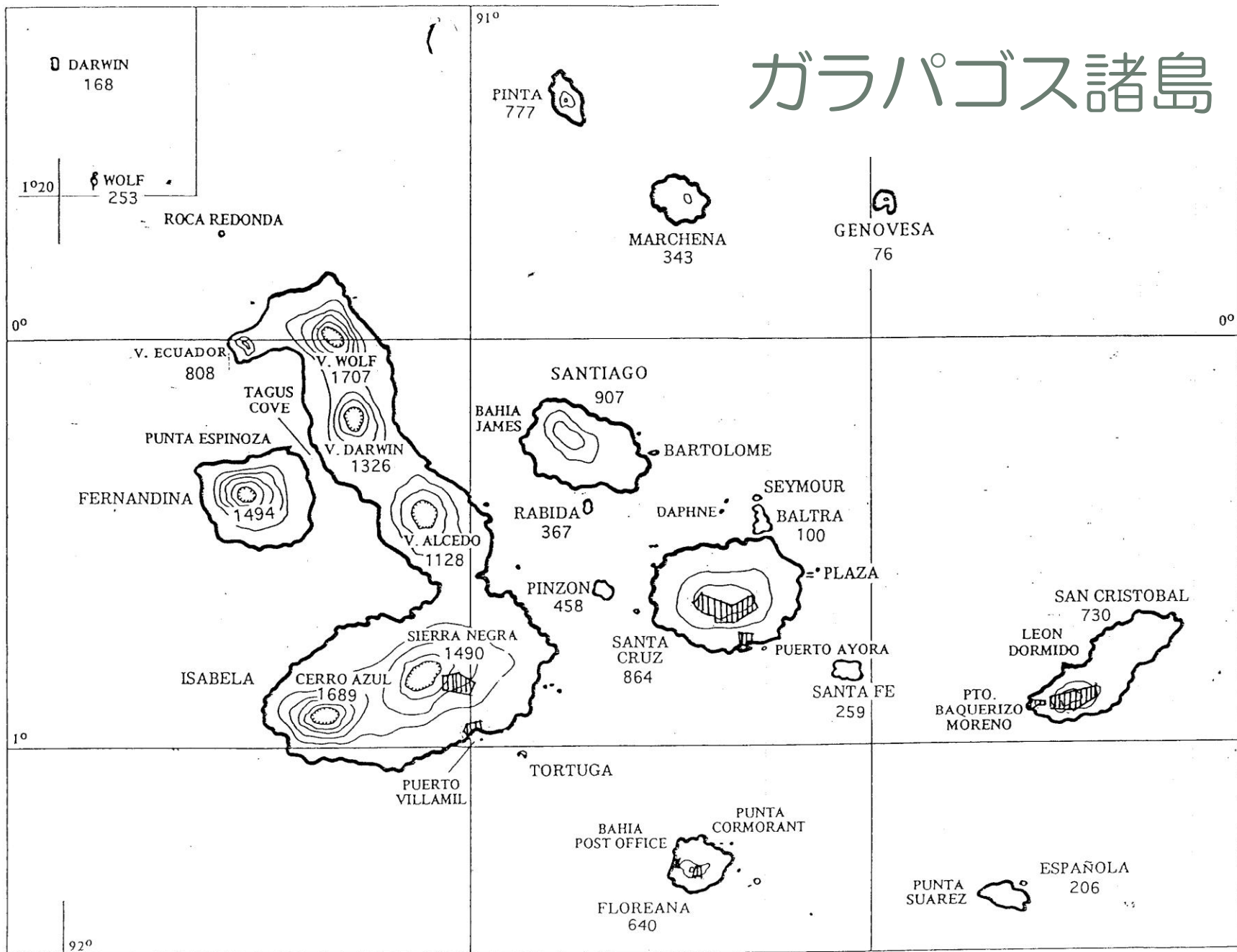
海洋島の生物種の固有率

	ガラパゴス		ハワイ		小笠原	
	種数	固有率 (%)	種数	固有率 (%)	種数	固有率 (%)
種子植物	449	51.8	956	88.9	261	44.4
シダ植物	117	6.8	143	64.9	66	31.8
哺乳類	43	34.8	1	100.0	1	100.0
鳥類	165	27.8	52	90.4	15	67.0
陸生は虫類	37	100.0	0	-	1	100.0
両生類	0	-	0	-	0	-
昆虫類	1976	50.1	5161	99.1	802	31.0
陸産貝類	83	96.4	1060	99.0	100	90.0

海洋島で見られる生物相や生態系の特徴（島症候群）

① 生物相が貧弱である	⑨ 移動（散布）能力が低下する
② 生物相が非調和（アンバランス）である	⑩ 防御能力が低下する（恐れ知らず）
③ 独自性（固有性）が高い	⑪ 新ニッチを開拓する
④ 属島ごとの固有種が多い（1島固有種）	⑫ 草本が樹木化する
⑤ 適応放散が起こりやすい	⑬ 目立たない花が多く、雌雄異株の割合が高い
⑥ 食物連鎖が単純である	⑭ 希少性が高い（絶滅しやすい）
⑦ 生態的解除現象がみられる	⑮ 外来種が侵入しやすい
⑧ 植生遷移が単純である	

ガラパゴス諸島



海流

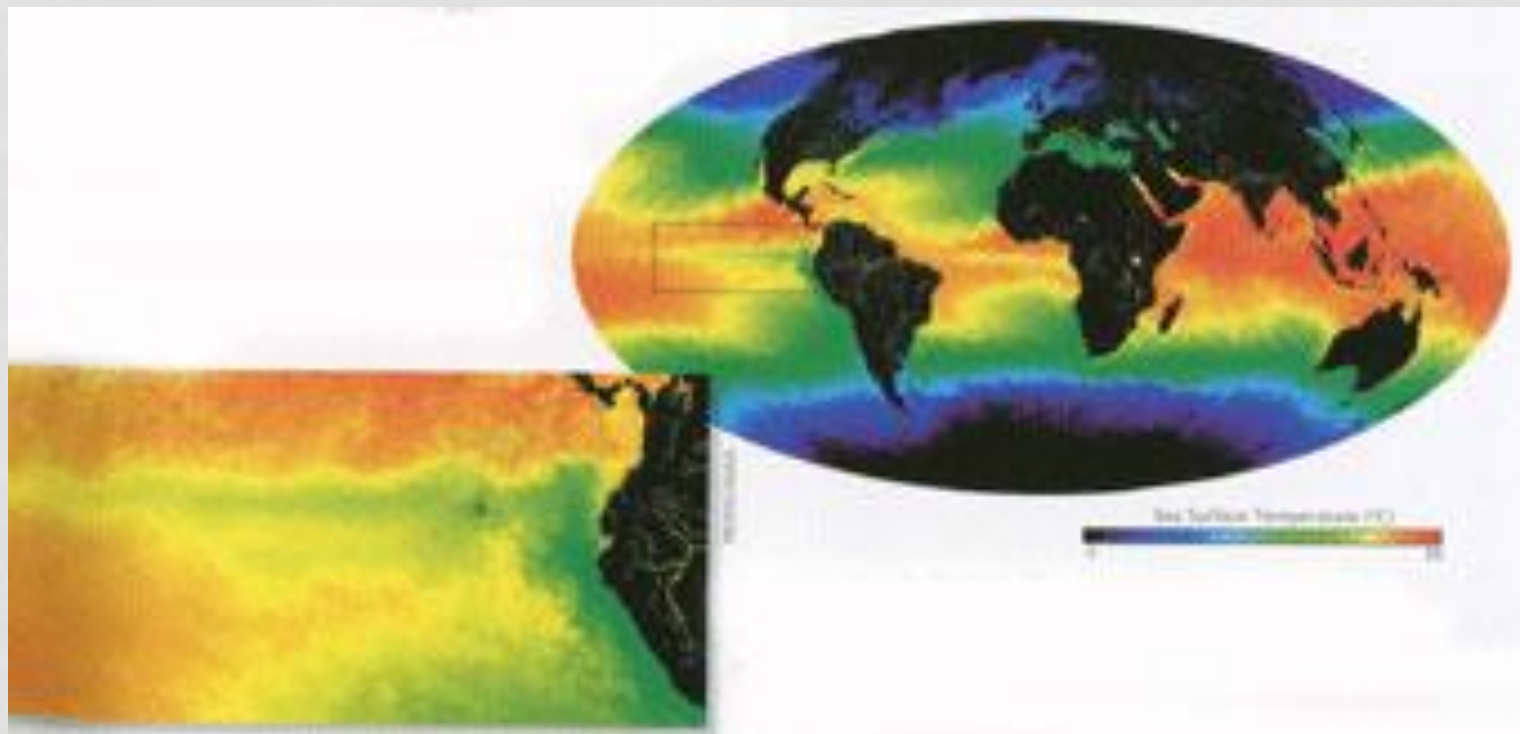
- ガルア季

ペルー海流が強い
南東風、波も高い
高地で常に霧雨
低地で過乾燥

- 雨季

パナマ海流が強い
風がやむ、波は穏やか
高地で過乾燥
低地で時々強い雨



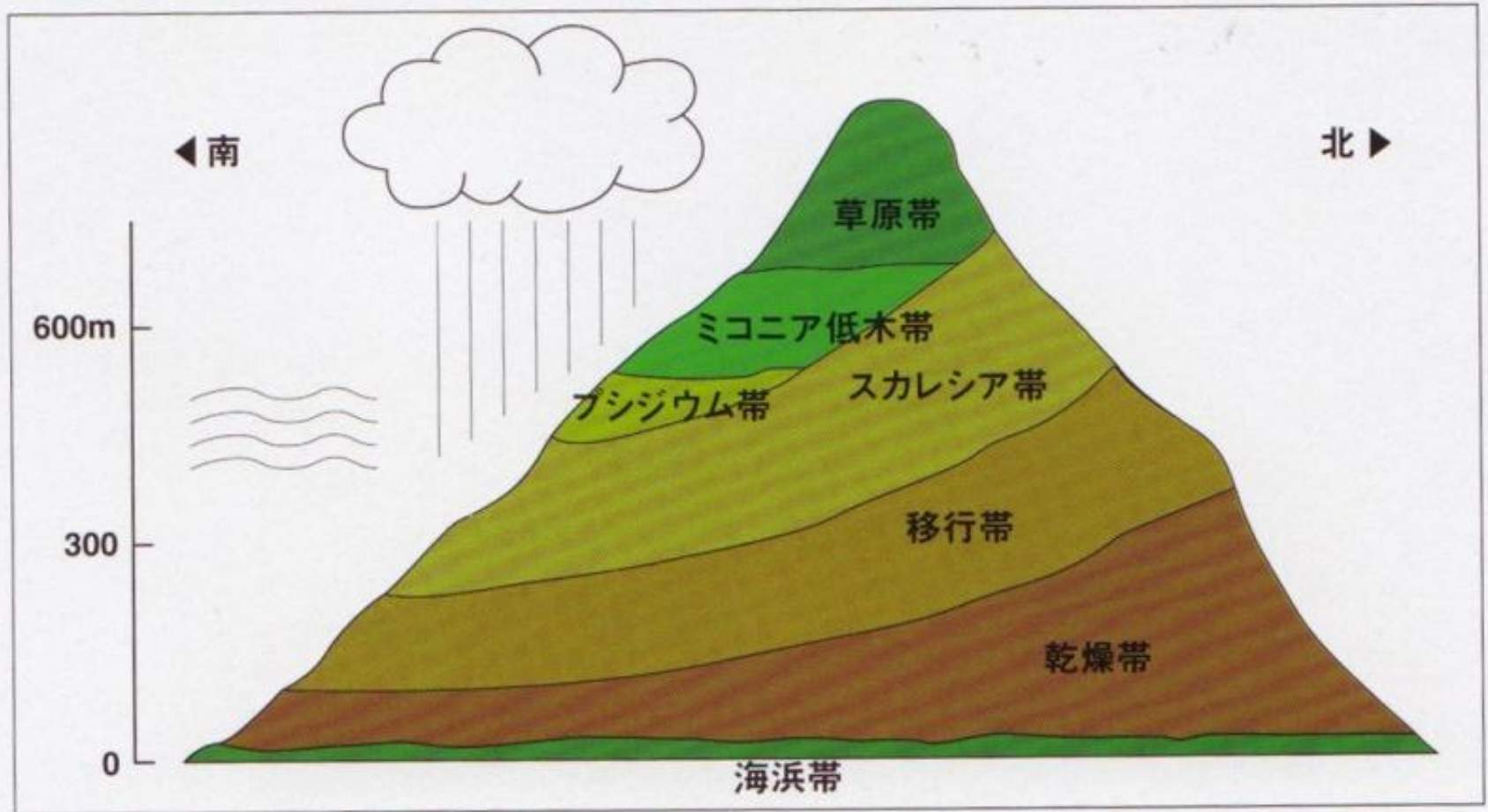


- 海水温の違いをサーモグラフで可視化

気候区分



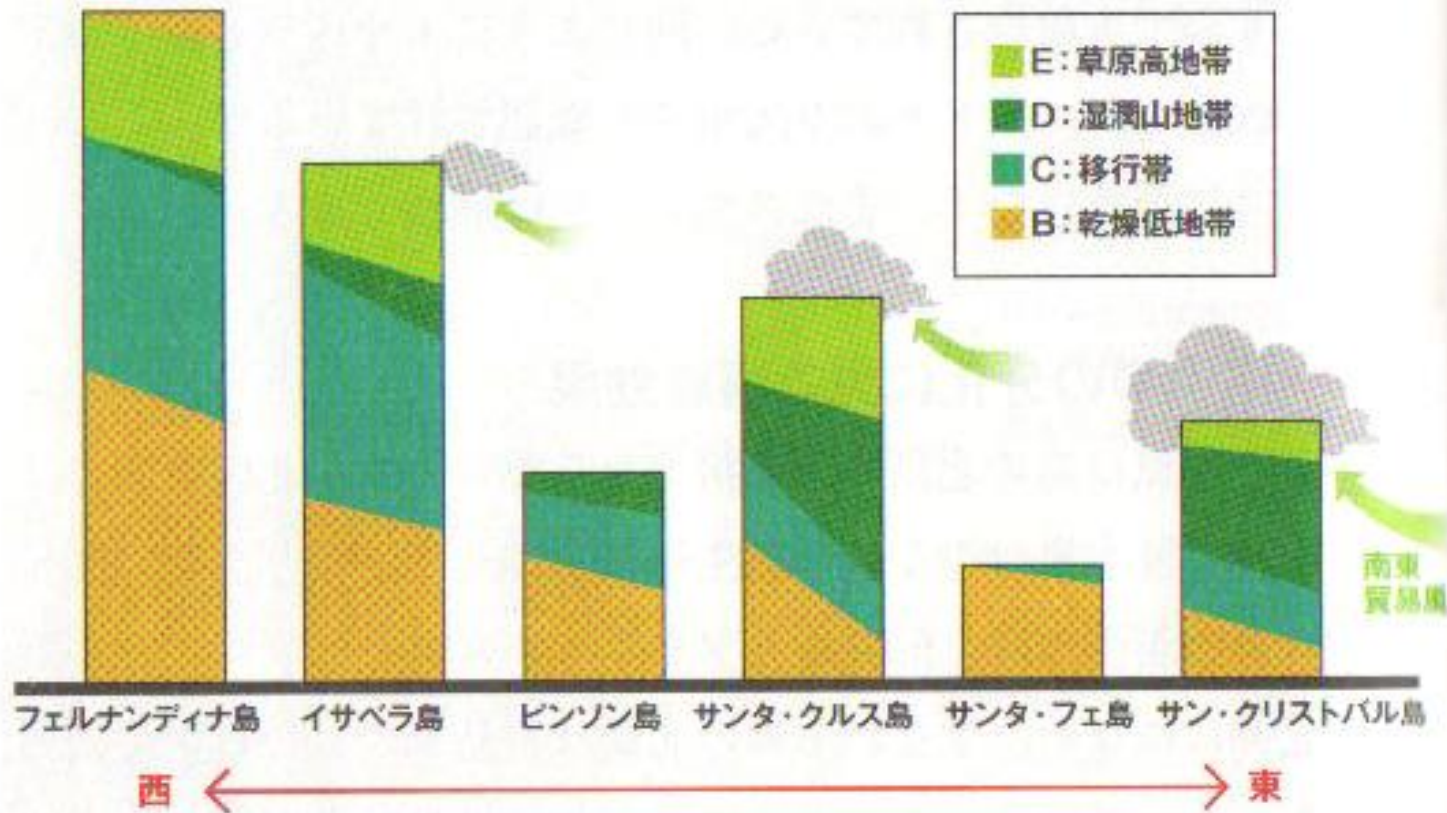
- サンタクルス島の例



標高と気候区分



風上側・風下側の島の間に見られる植生帯のずれ



『ガラパゴスの生態系: その不思議さを探る』(伊藤秀三2006日本ガラパゴスの会報) 図4を一部改変。

溶岩の比較



標高による違い



ガラア季のフロレアナ島 高標高地点（左）と低標高地点（右）

季節による違い



フロレアナ島低地 ガルア季（左）と雨季（右）



Photo by Kaoruko

イサベラ島シエラネグラ火山（約1000m地点）



イサベラ島 中標高地点（農業地域）・低標高地点



サンチャゴ島低地



環境の厳しさと多様性が、多くの固有種を生み出してきた