

2013年11月3日

学術講演会

よく見えないと生き残れない  
~カワスズメ科魚類の視覚の適応と種の起源~

総合研究大学院大学 先導科学研究科 生命共同体進化学専攻

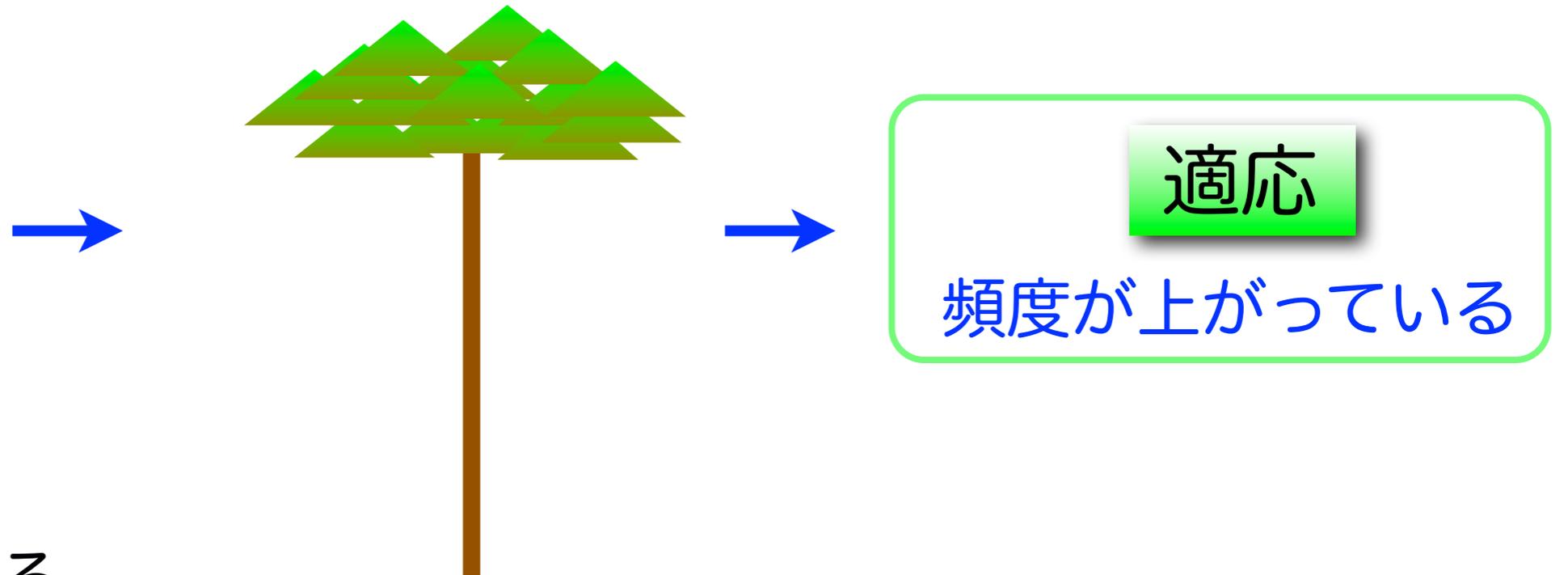
寺井洋平

# 生物の進化はどのようにして起きてきたか？

- 適応
- 種分化

と、考えられている

# 適応



1、集団内に差がある

2、適応度に差がある

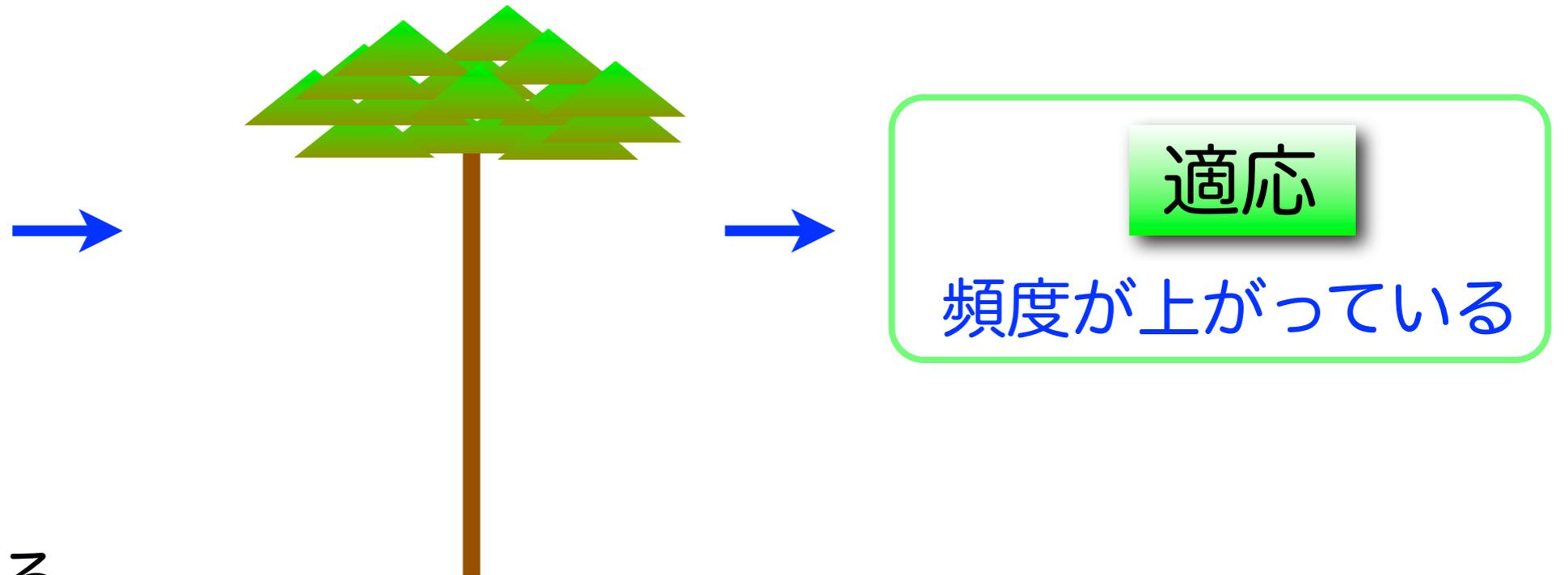
3、それらの差が遺伝する

## 適応度

生物個体が次の世代に残した子の数

子の数は生殖可能な個体数

# 適応



1、集団内に差がある

2、適応度に差がある

3、それらの差が遺伝する

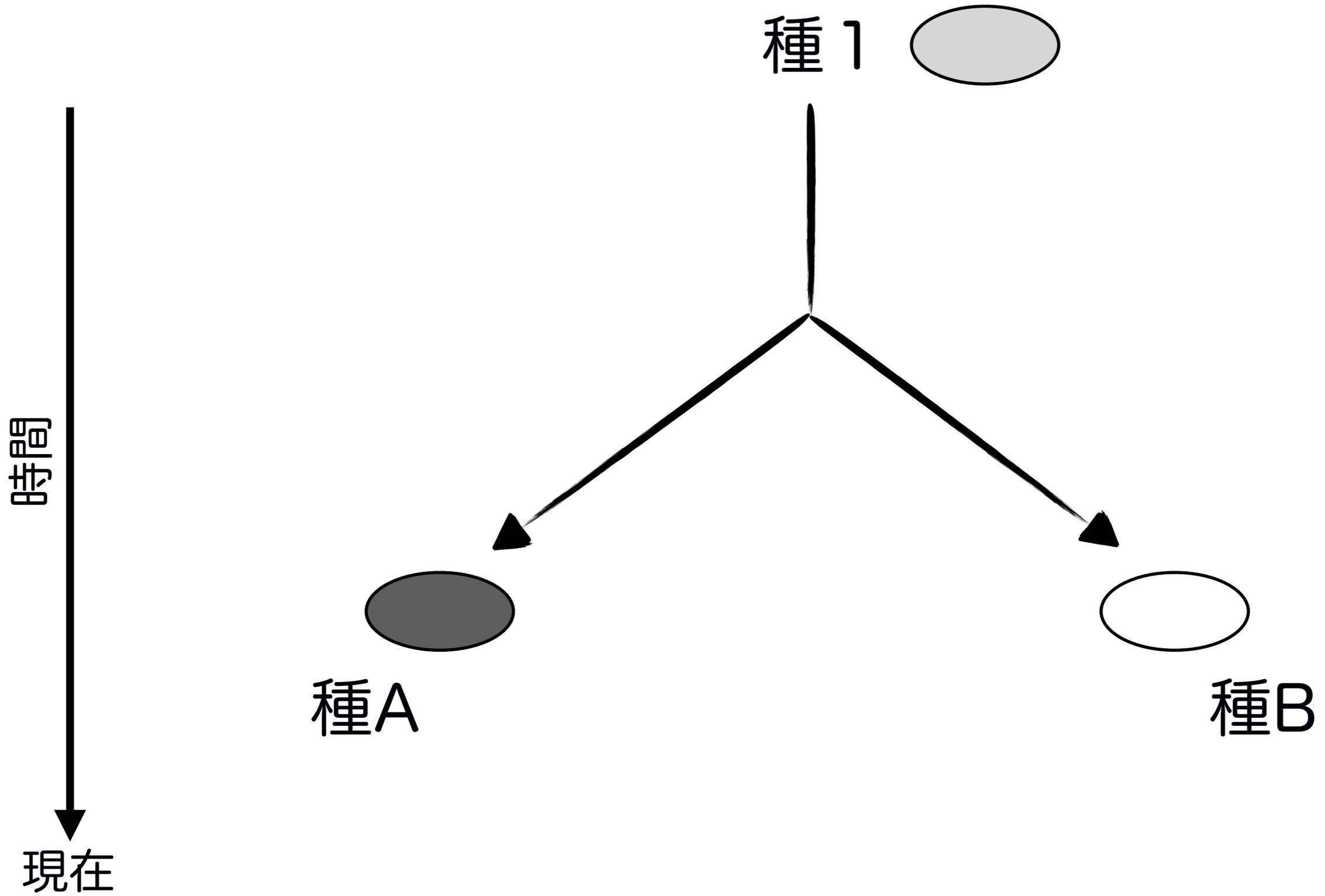
自然選択(ダーウィン)

適応度が高い遺伝子型が次世代で頻度を上げる現象

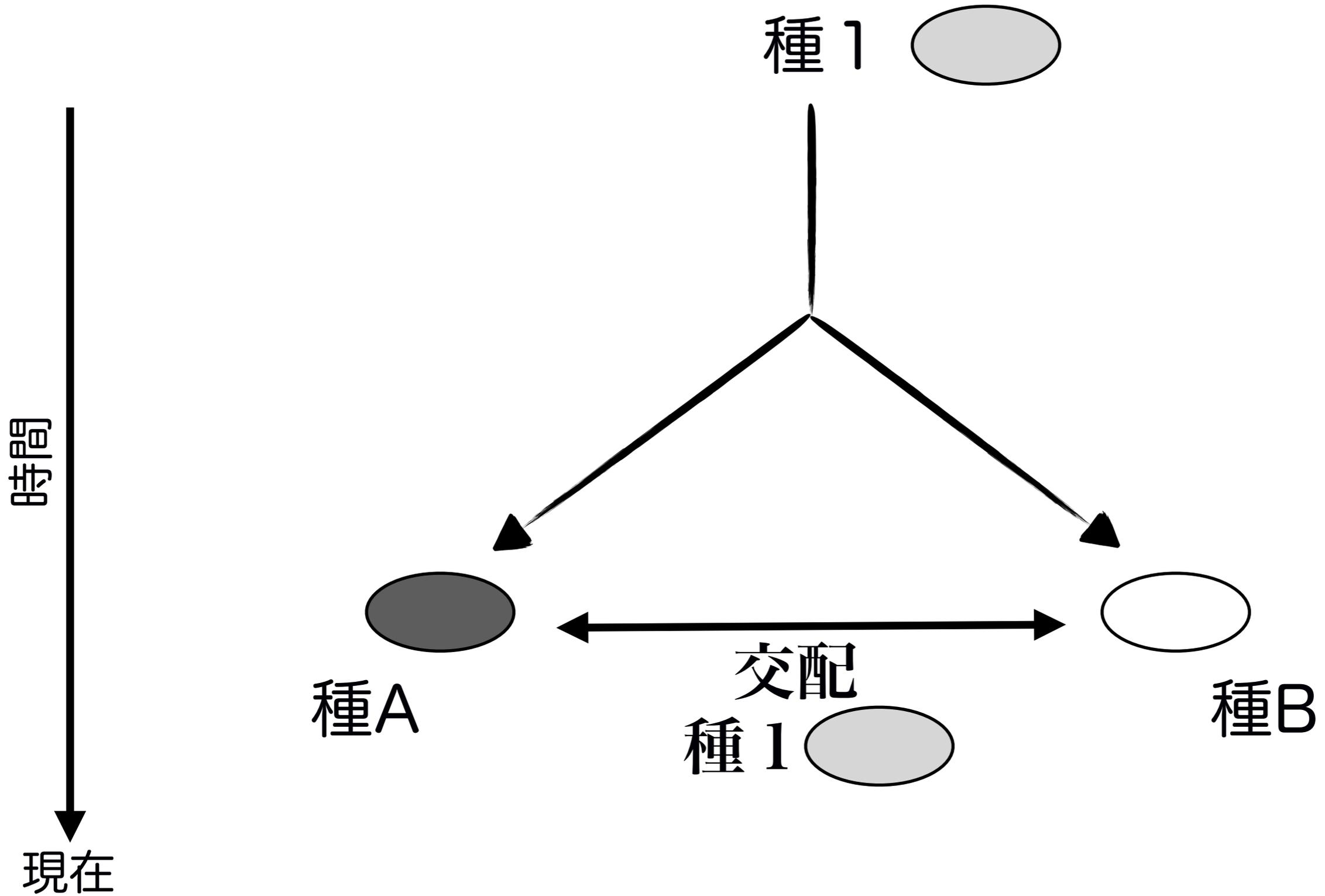
# 生物の進化はどのようにして起きてきたか？

- 適応
- 種分化

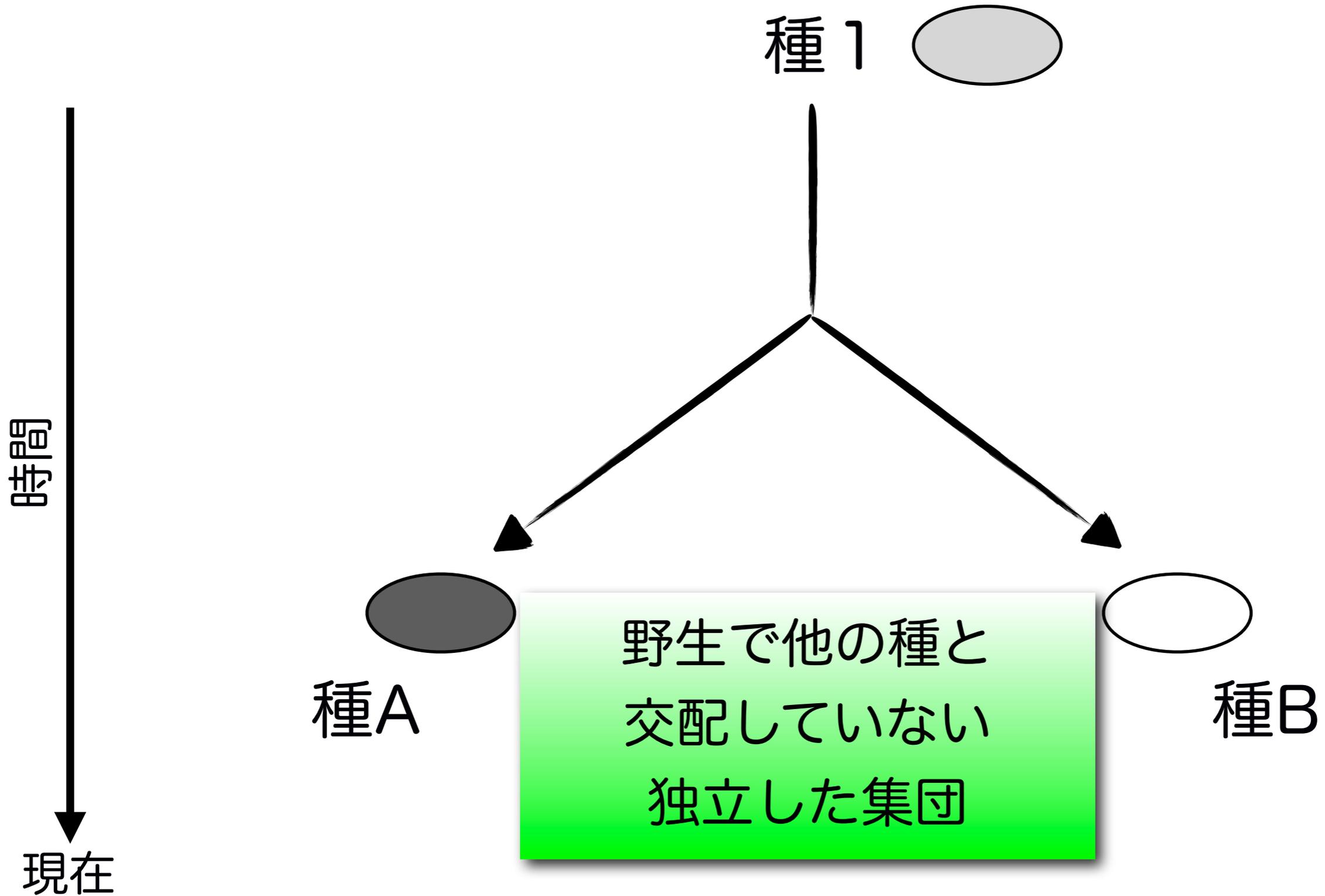
# 種とは？



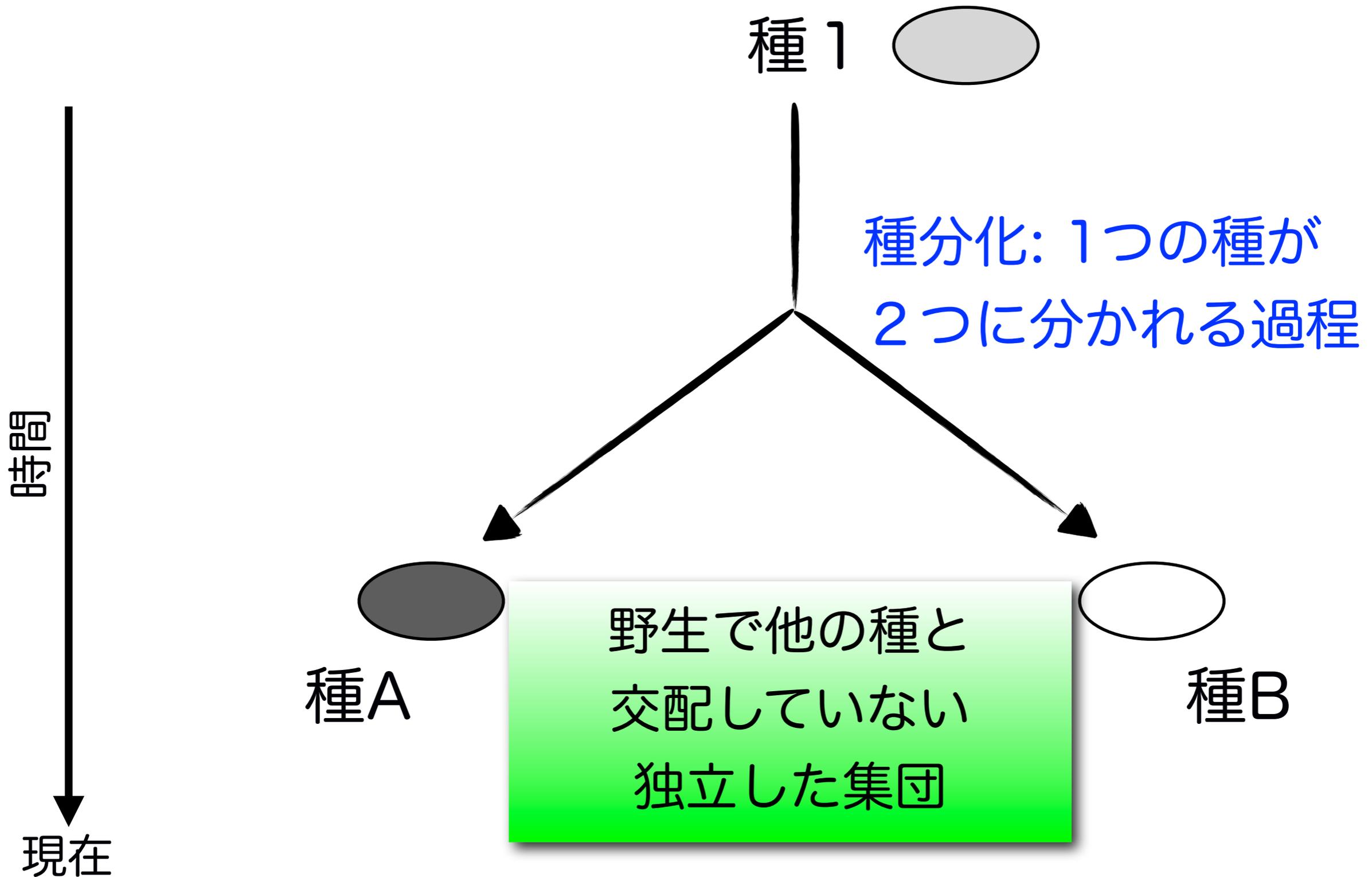
# 種とは？



# 種とは？

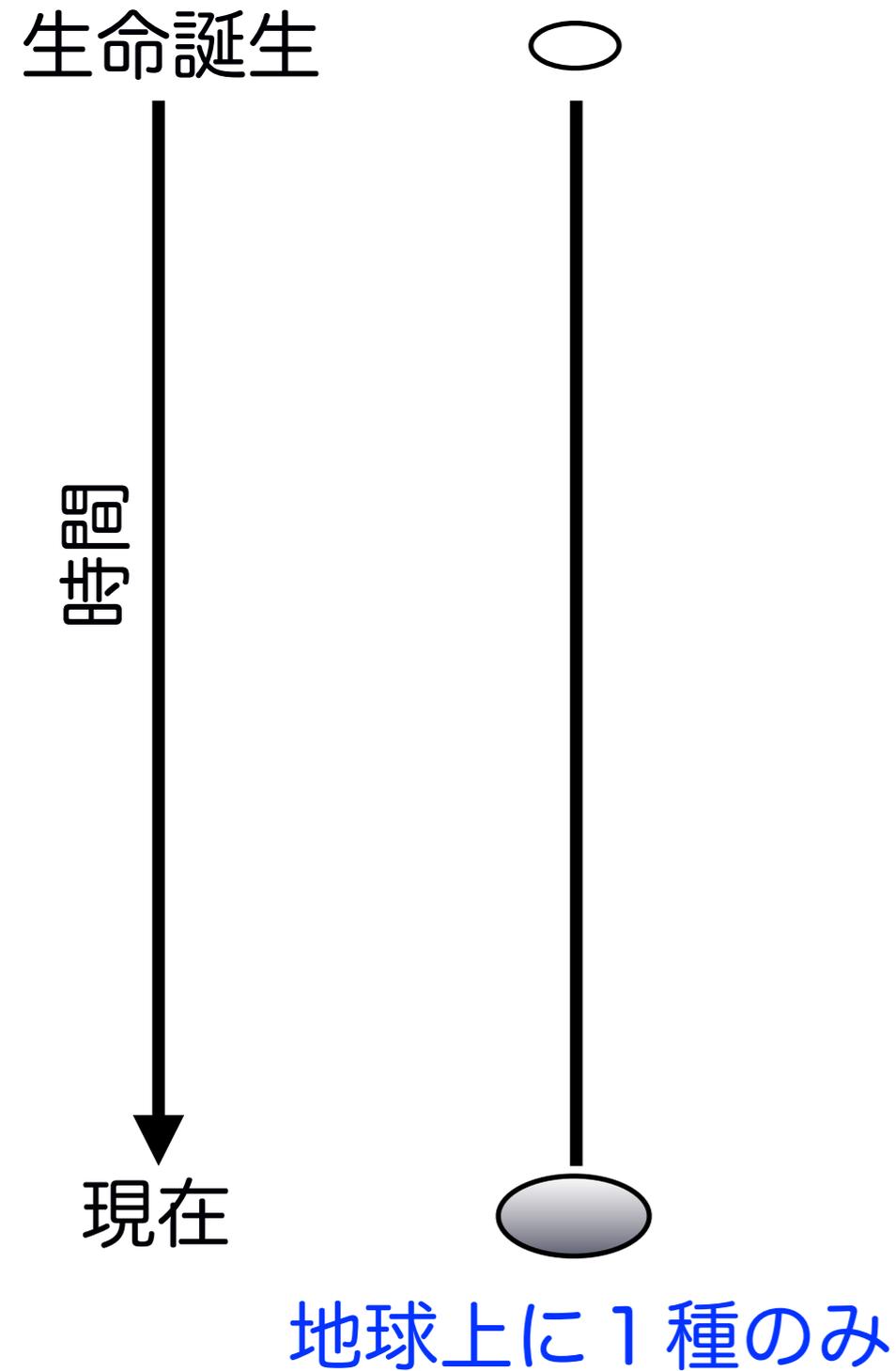


# 種とは？

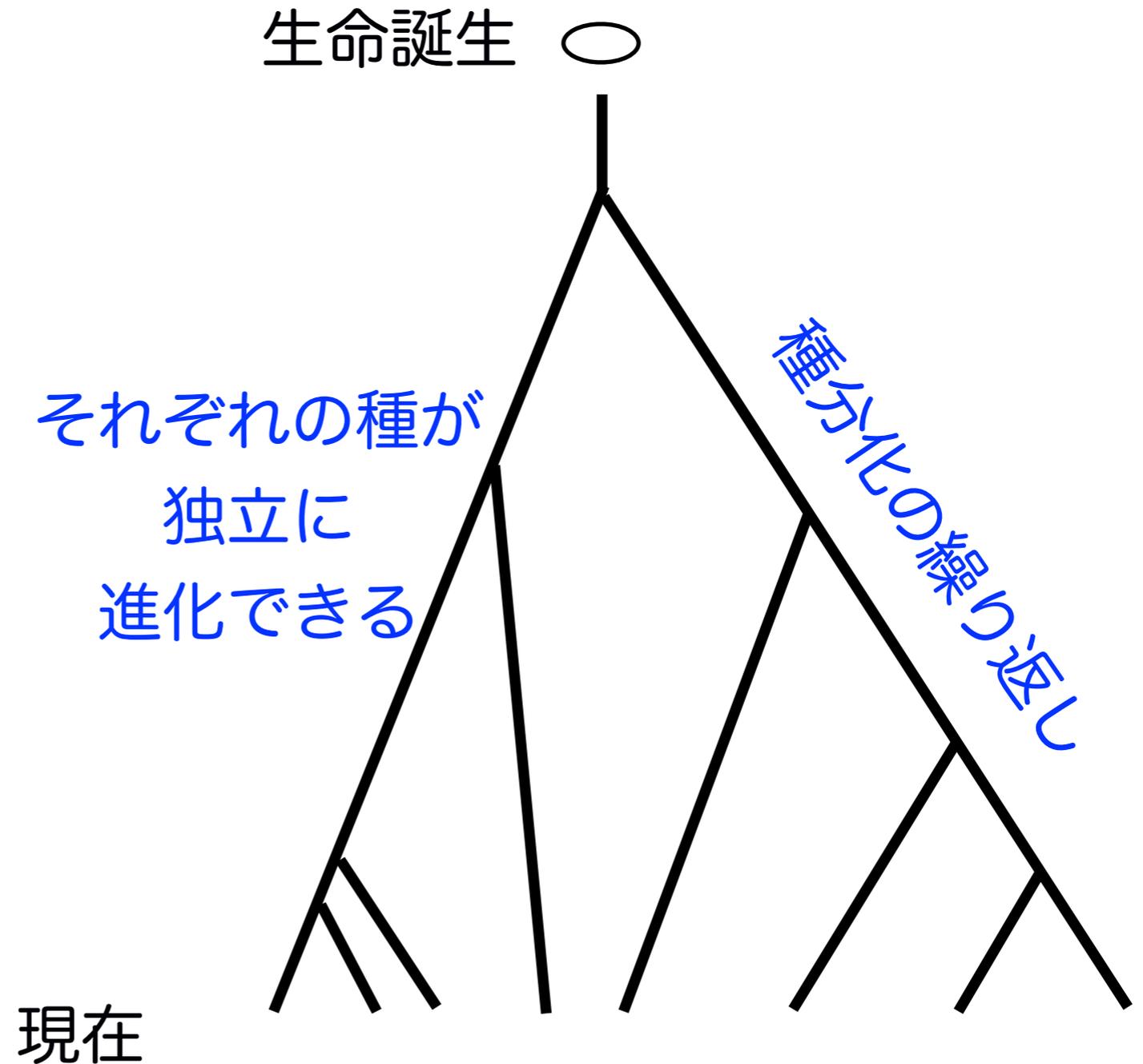


# 種分化の重要性

種分化なしだったら



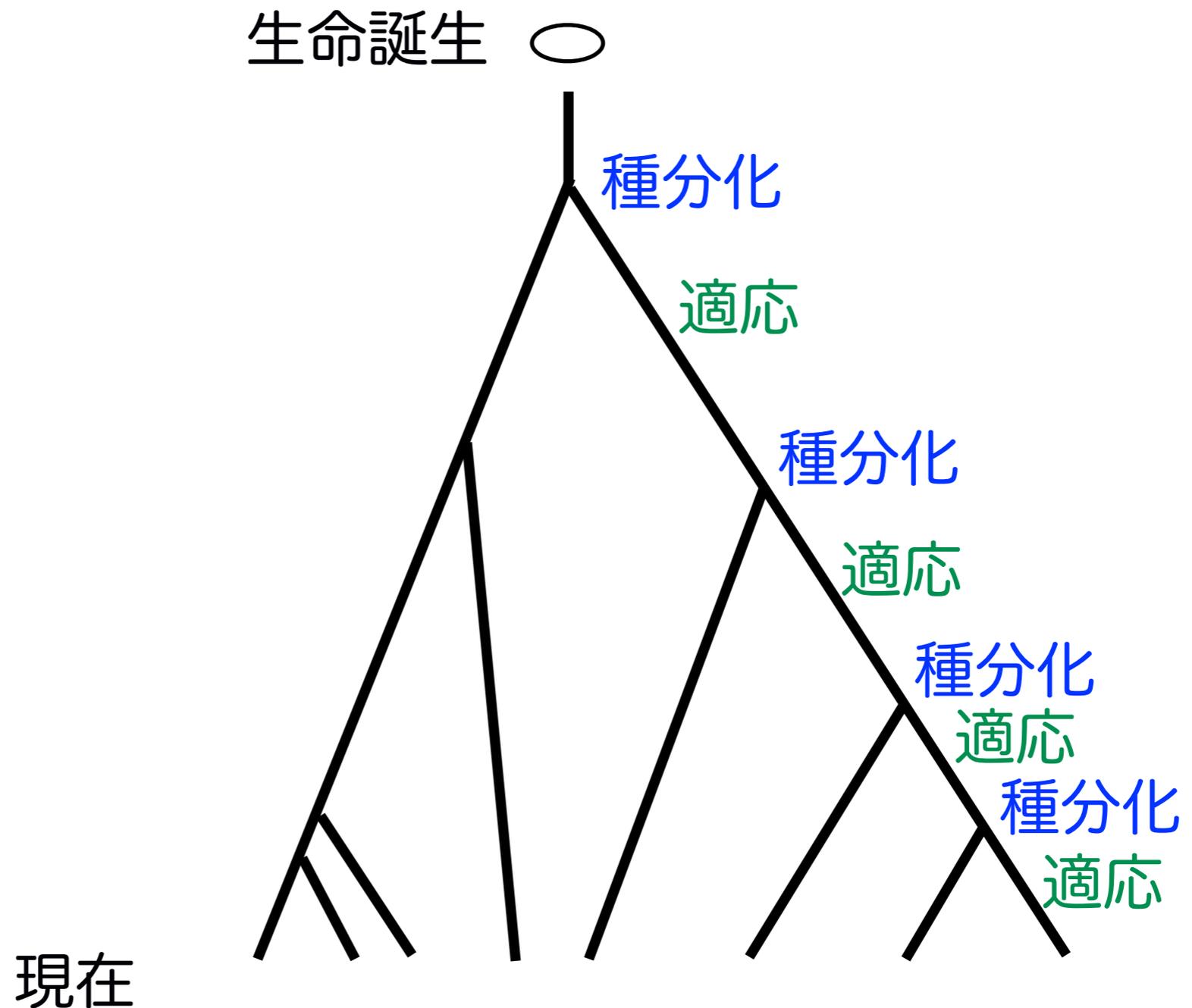
種分化あり



# 生物の進化はどのようにして起きてきたか？

- 適応

- 種分化



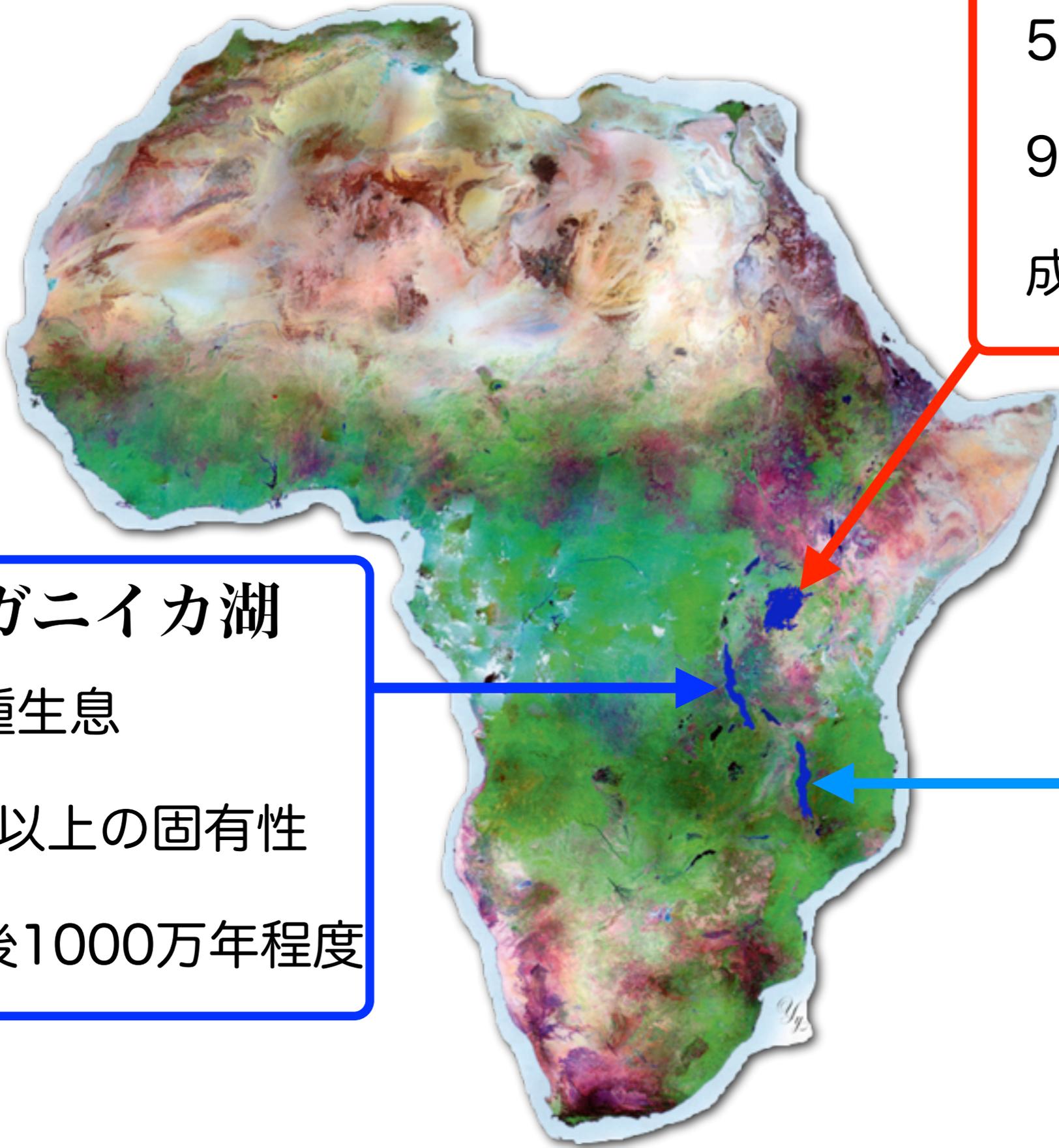
と、考えられている

どんな生物を研究するか？

シクリッド

形態的、生態的に多様な進化研究のモデル生物

# 三大湖産シクリッド



## ヴィクトリア湖

500種以上生息

99 %以上の固有性

成立後14,000年程度

## タンガニイカ湖

250種生息

99 %以上の固有性

成立後1000万年程度

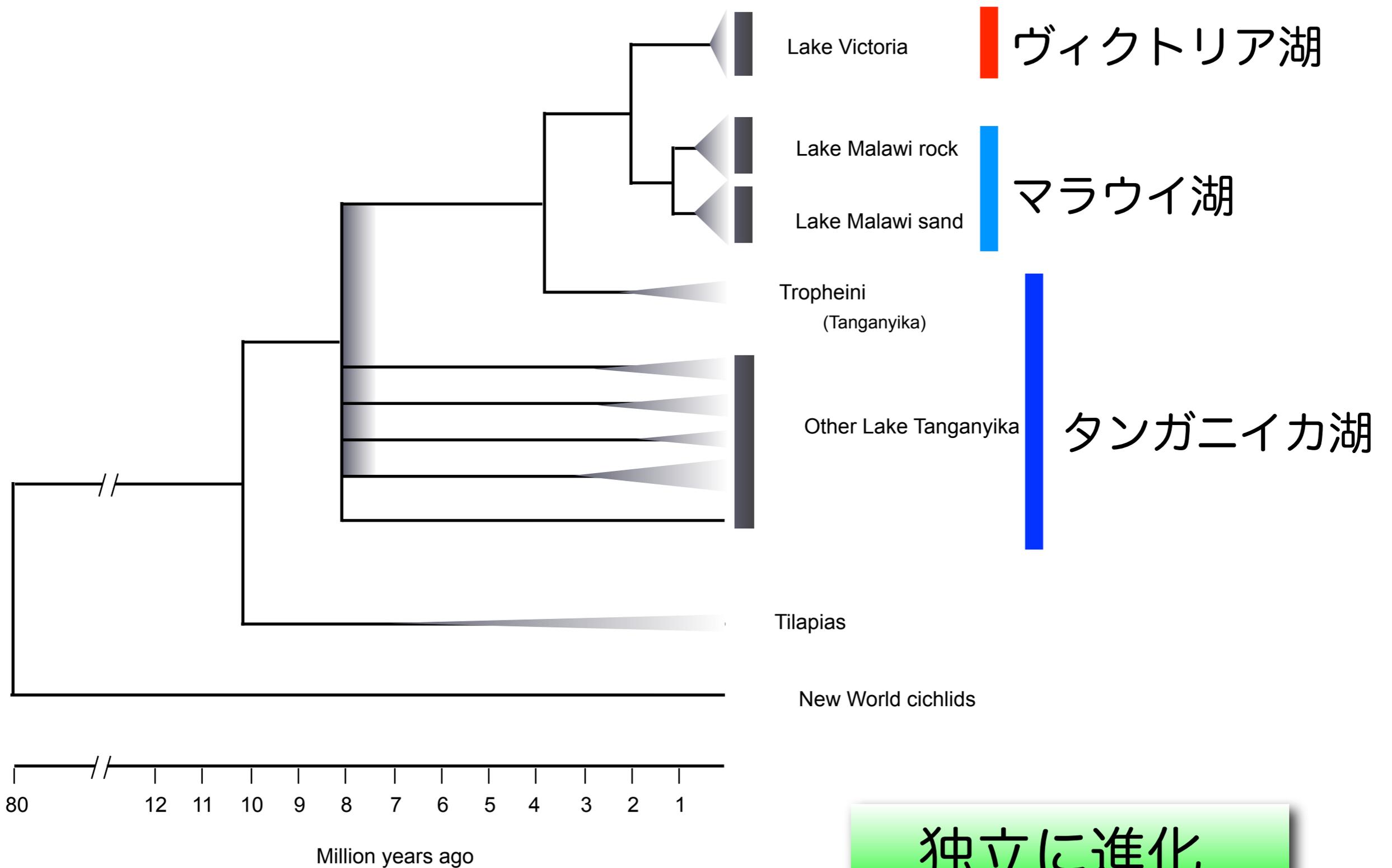
## マラウイ湖

500種以上生息

99 %以上の固有性

成立後200万年程度

# 三大湖産シクリッドの系統関係(進化の道筋)



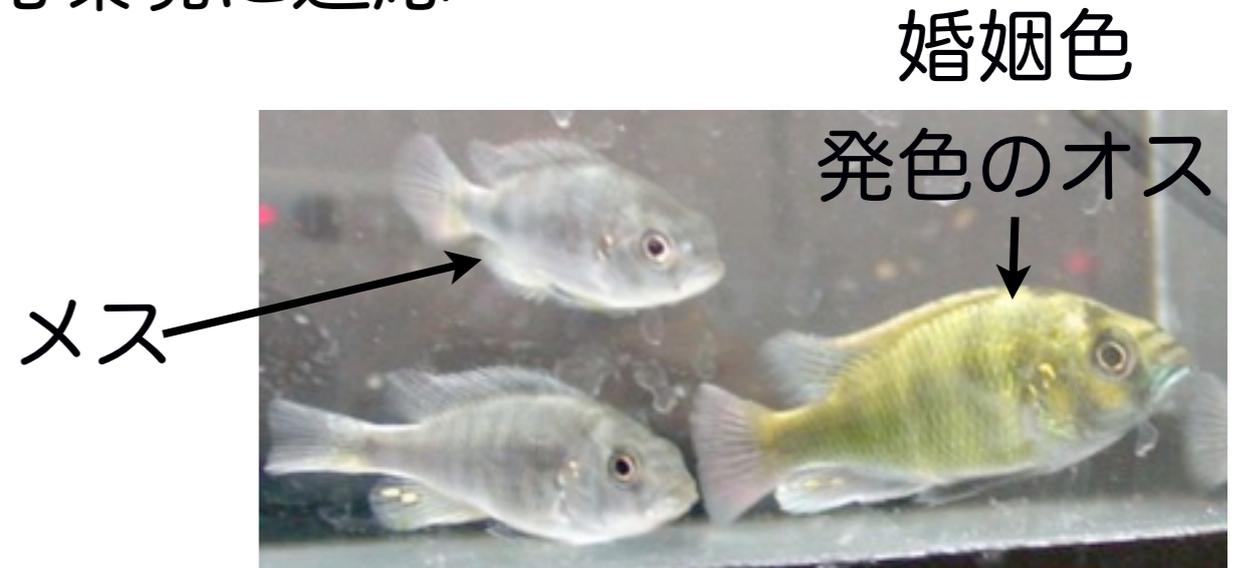
# シクリッドにおける視覚の重要性

- 適応

水深、透明度、水質などで異なる光環境に適応

- 性選択

メスによるオスの選択



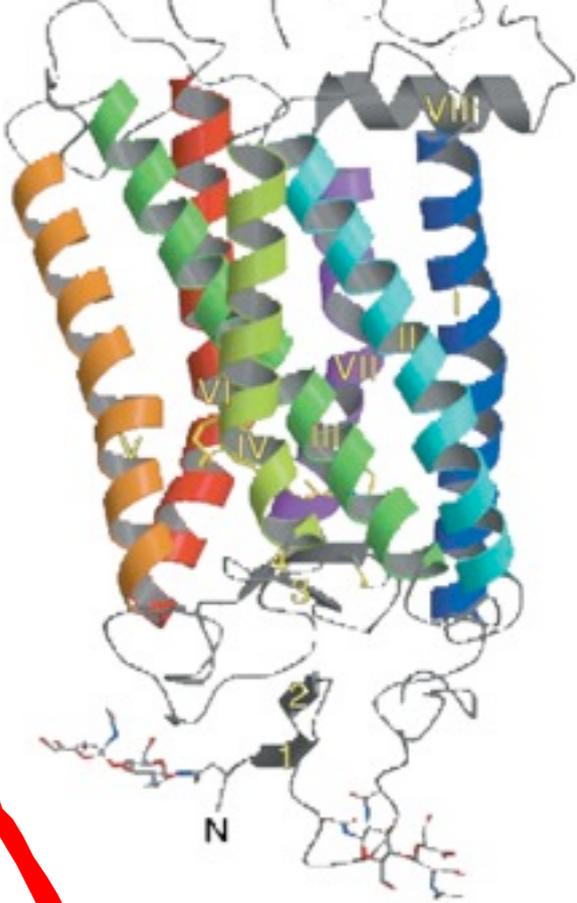
メスは眼でオスの色を見て配偶者を選択

感受性が高い光の波長の婚姻色を選択

異なる波長の感受性には  
オプシンが関与

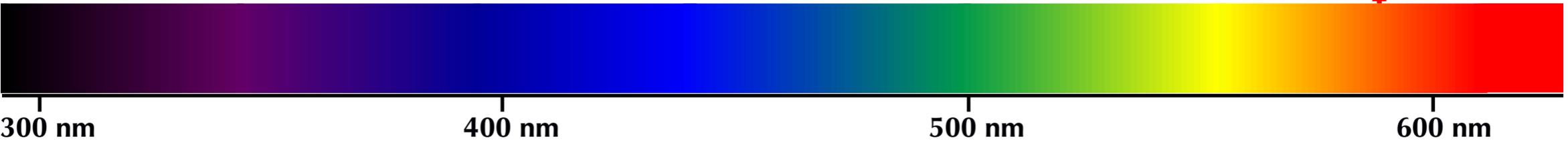
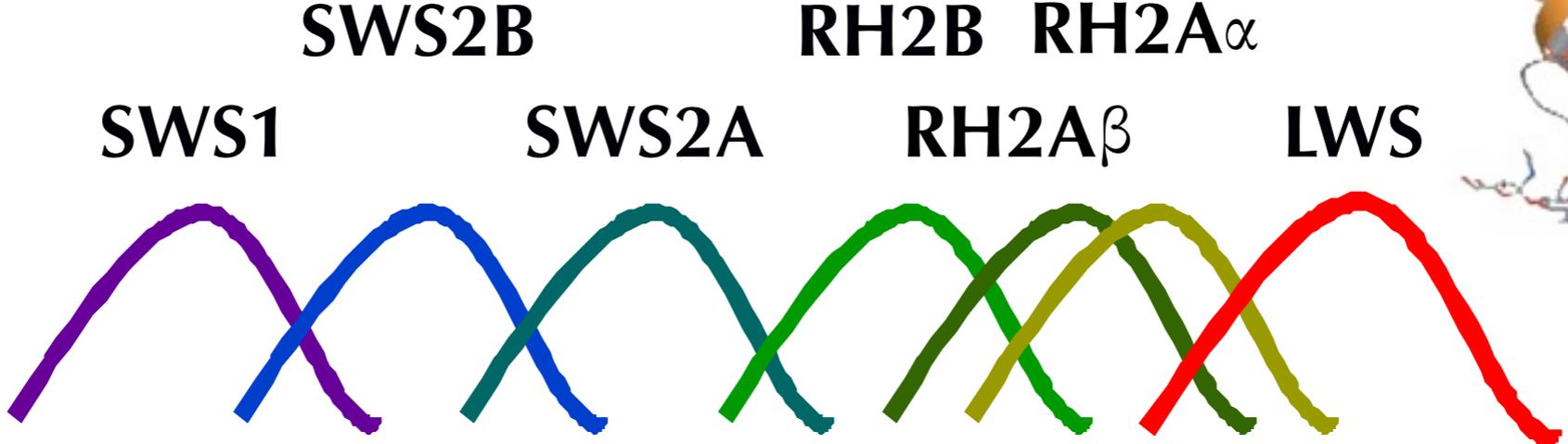
# シクリッドのオプシン

ヒトは青、緑、赤の3種類



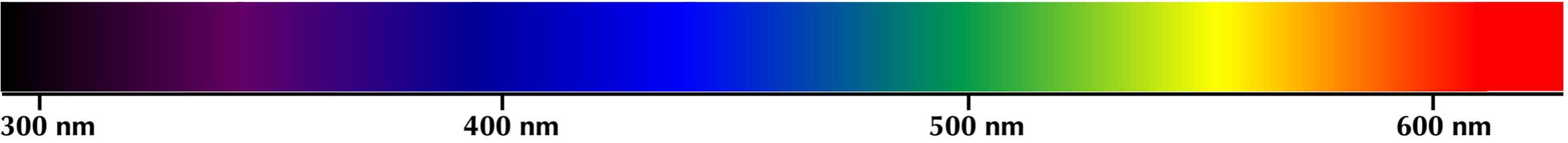
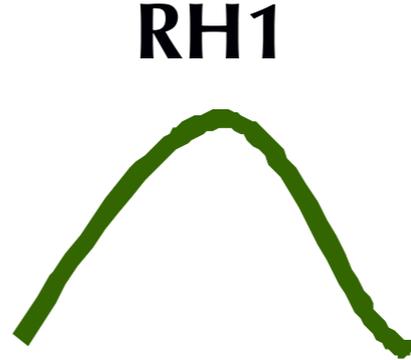
cone

色覚



rod

薄明視



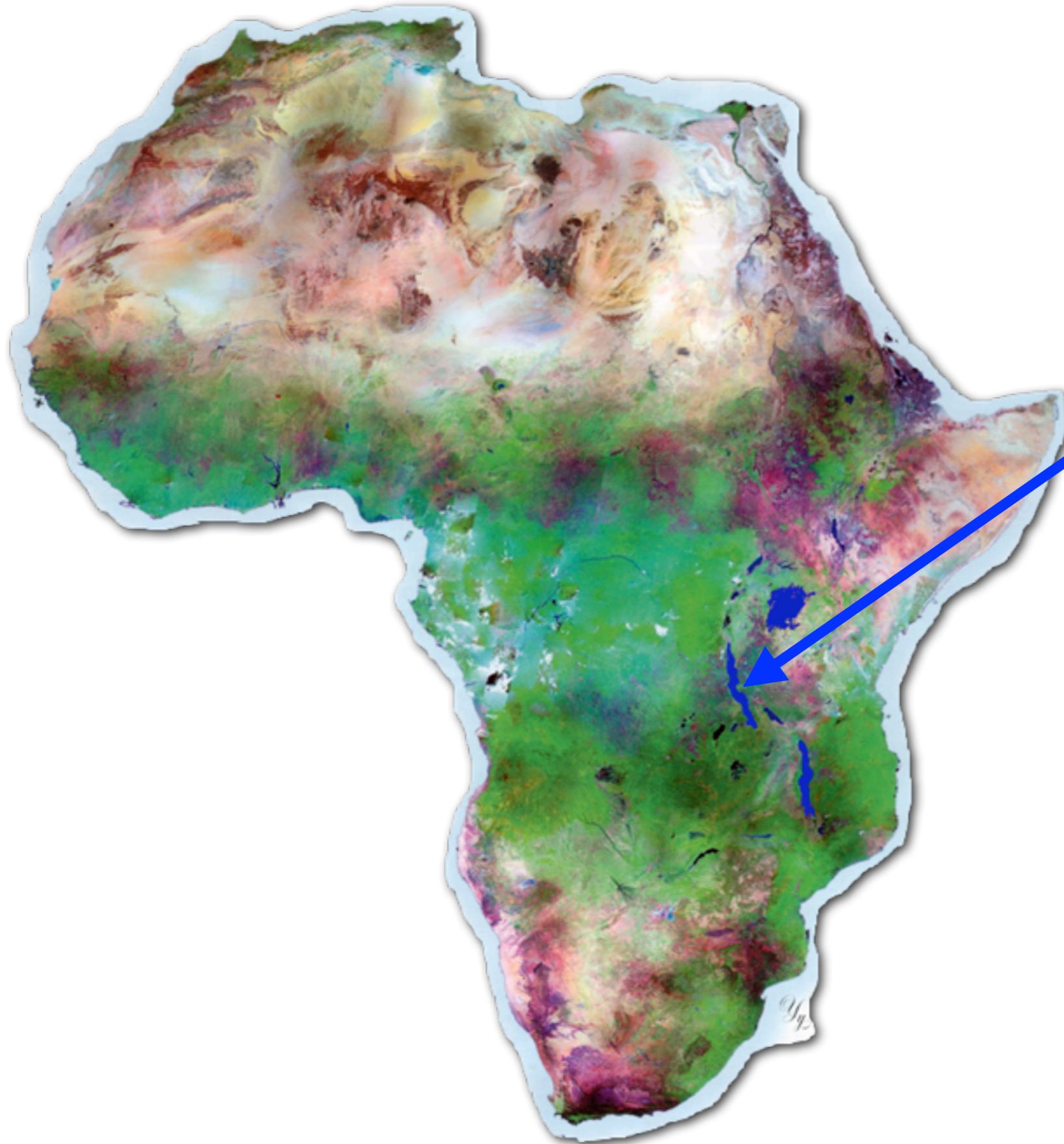
# 生物の進化はどのようにして起きてきたか？

- 適応

オプシン遺伝子の適応

- 種分化

# タンガニイカ湖



タンガニイカ湖

500種以上生息

99 %以上の固有性

成立後1000万年程度

世界で2番目に深い湖

~1500 m

魚は200 mまで

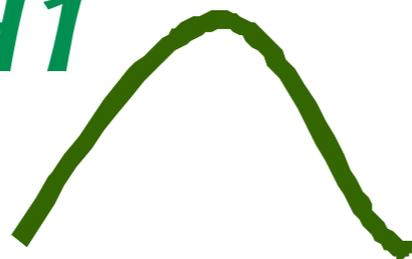
塩濃度とpHが高い

透明度が高い

# RH1

rod

*RH1*

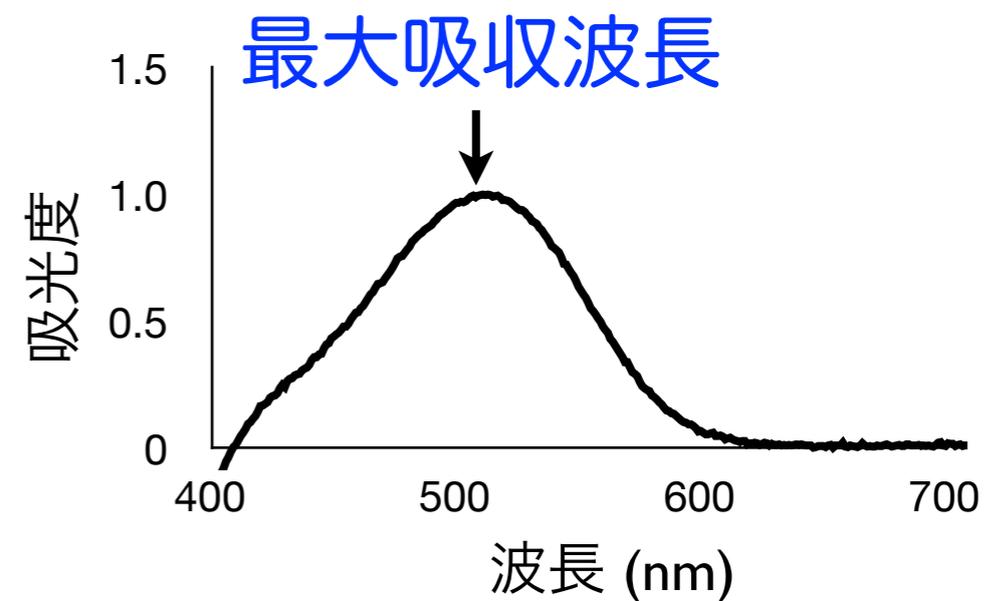


400 nm

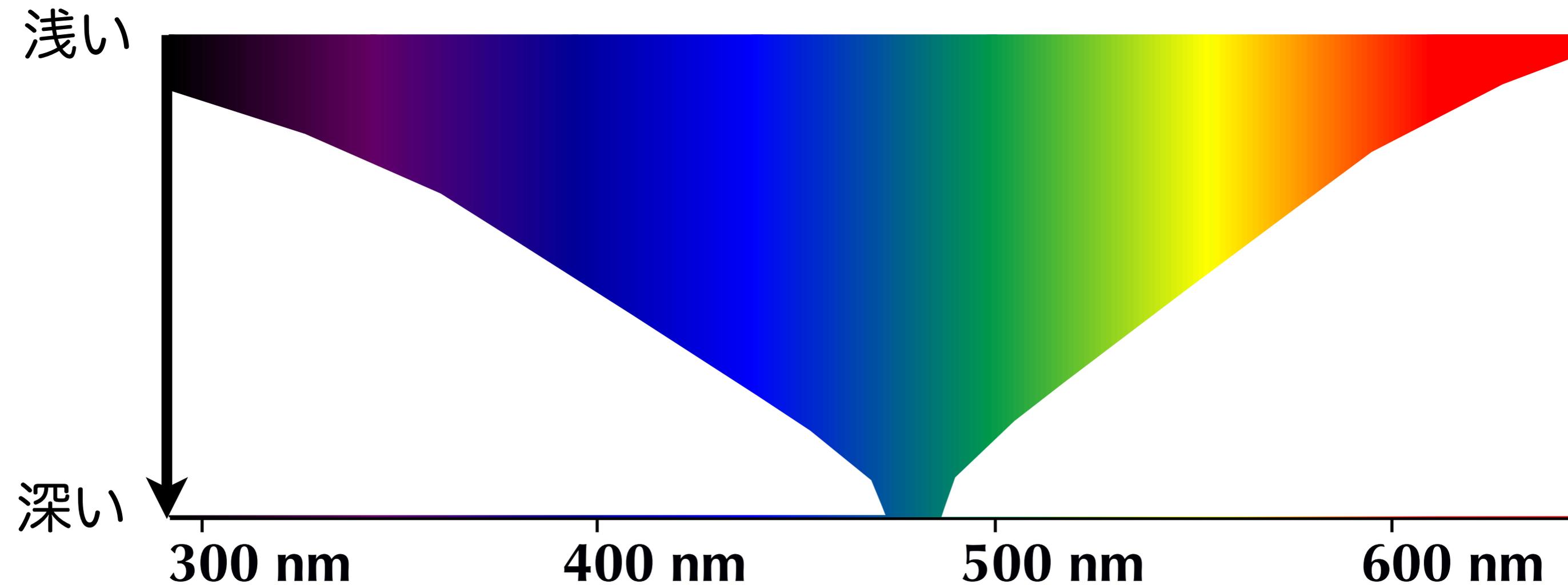
500 nm

600 nm

- 薄明視で働く
- 陸上生物や浅場の魚類は500 nm付近(緑)に最大吸収



# タンガニイカ湖の水中の光環境



水深が深くなるにつれて青緑の光が残る

# RH1 遺伝子

A292S



Amino acids positions

1122223333444457889035566666788880011112555677899999000355  
4902792379128905385438923569335696934780569304602789048623

<i>Oreochromis niloticus</i>	VIVSPHVS	YAGAILAIDFMVVAFLALSGVMCSVIIILITV	FVIIIGYV	LASSSILCTSP
<i>Xenotilapia ochrogenys</i>	.....V.....I.I.....AAV.....A.IT.IM.V.....I.....			
<i>Haplochromis laparogramma</i>	.....C.V.....VI.GVIG..AL.....I.IM.....GA..I.S..			
<i>Haplotaxodon microlepis</i>	A.....V.....I.I..V...A.....M...LIM.V.....A...I.....			
<i>Dimidiochromis compressiceps</i>	.....V.....V.I..V..AA.....I...IM.V.....I.S..			
<i>Tropheus duboisi</i>	.....V.....V...V...A.....T...IM.V.....GA..I.S..			
<i>Pallidochromis tokolosh</i>	.....V.N.I...V..AA...I..T...IM.V.....I.S..			
<i>Labidochromis caeruleus</i>	.....V.....V.I..V...A.....T...IM.V.....GA..I.S..			
<i>Pseudotropheus sp.</i>	.....V.....V.I..V...A.....T...IM.V.....GAA.I.S..			
<i>Spathodus erythron</i>	.....V..LI.I..V.SAV.....M...IM.V.....I..F.			
<i>Diplochromis macrops</i>	.....Y..V...V.N.I...V..AA...I..T...IM.V.....A.I.S..			
<i>Bathybates fasciatus</i>	.....V.....I.I.....A.....S.V..IM.VS...AAA.V....			
<i>Aulonocara stuartgranti</i>	.....V.....V.I..V..AA.....T...IM.V.....GAA.I.S..			
<i>Hemibates stenosoma</i>	.....NF...M.V..L.II..V...A.....SVF..IM.VS..I.AAAVV....			
<i>Altolamplogus calvus</i>	.....V.....I.I..V.AAV.....M..I.IM.V.....GAA.I....			
<i>Aulonocara copper</i>	...N...F...V...V.I..V...A.....T...IM.V.....AAA.I.S..			
<i>Gnathochromis permaxillaris</i>	...N..A.F...M.V...III..V.....S...IMVV...I.AAA.I....			
<i>Cyprichromis leptosoma</i>	A.....N...M.V...I.I..VG..A..V...M...IM.V.F...AAAVI....			
<i>Limnochromis staneri</i>	.....F...V...III..V...A.....S...IMVV...AAA.I...L			
<i>Baileychromis centropomoides</i>	.....N..A...V.N.II..V...A.....V.S...IMVV...AAA.I....			
<i>Xenotilapia caudafasciata</i>	.....A.F..S..V...I.I..V...A.L...A..T.IM...I.SAA..I....			
<i>Perissodus elaviae</i>	A.....V.....I.I..V...A.....M...IM.V...SAAA.I....			
<i>Xenotilapia nigrolabiata</i>	.....A.F..S..V...T.I..V...A.L...A..T.IMF...I.SAA..I....			
<i>Trematocara macrostoma</i>	A.....A...V...I.I..V.C.V...A..VS.FI.IM..S...S..A.V....			
<i>Greenwoodochromis bellcrossi</i>	TVI.....IV...I.I..V...A..V...M...IM.V...SAAA.I....			
<i>Benthochromis tricoti</i>	A..NS..NF...V...III..V...A.....M...IM.V...SAAA.I....			
<i>Cyphotilapia frontosa</i>	T.....N...V...I.I..V...A..V...M...IM.V.F...SAAA.I....			
<i>Trematocara unimaculatum</i>	A.....VV..T.I..V...V...A..A.V..IM...S..A..VF....			

T

A292Sの置換が多くの深場種で見られた

# RH1の機能測定

## RH1視物質の再構築

培養細胞中でRH1タンパク質の発現

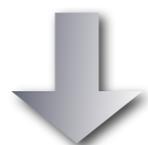
+

レチナールA1

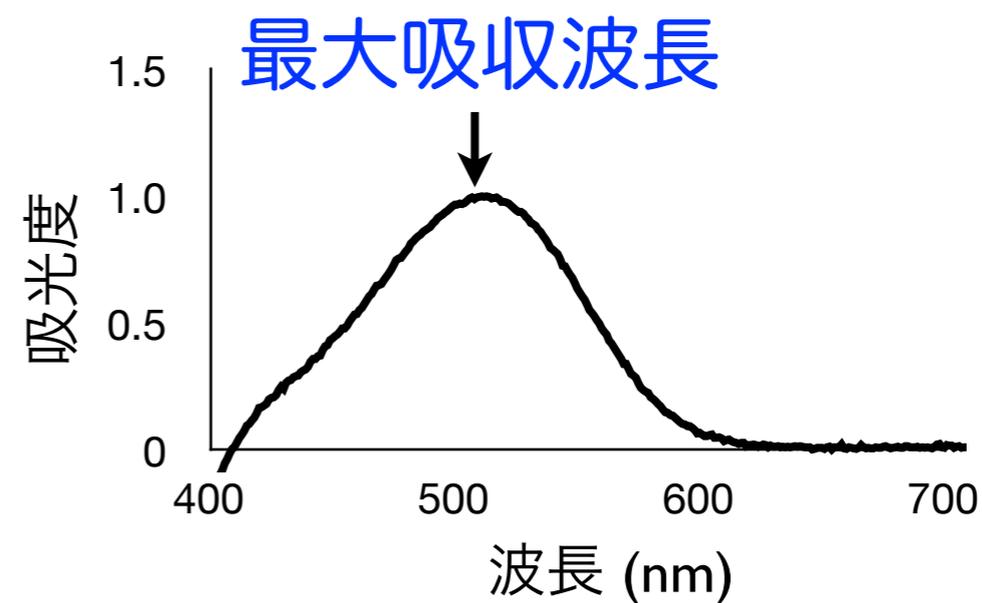
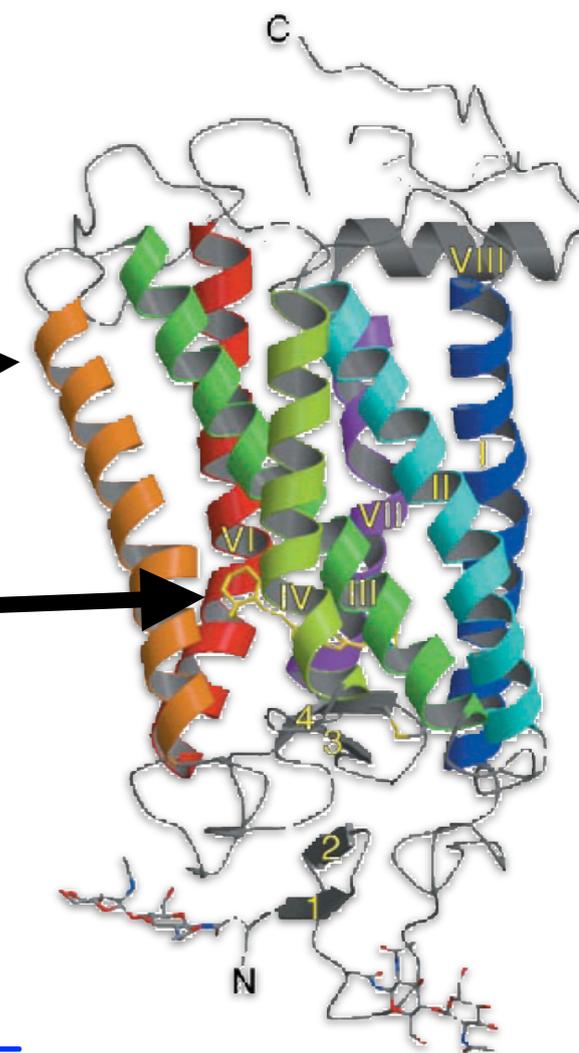


再構築

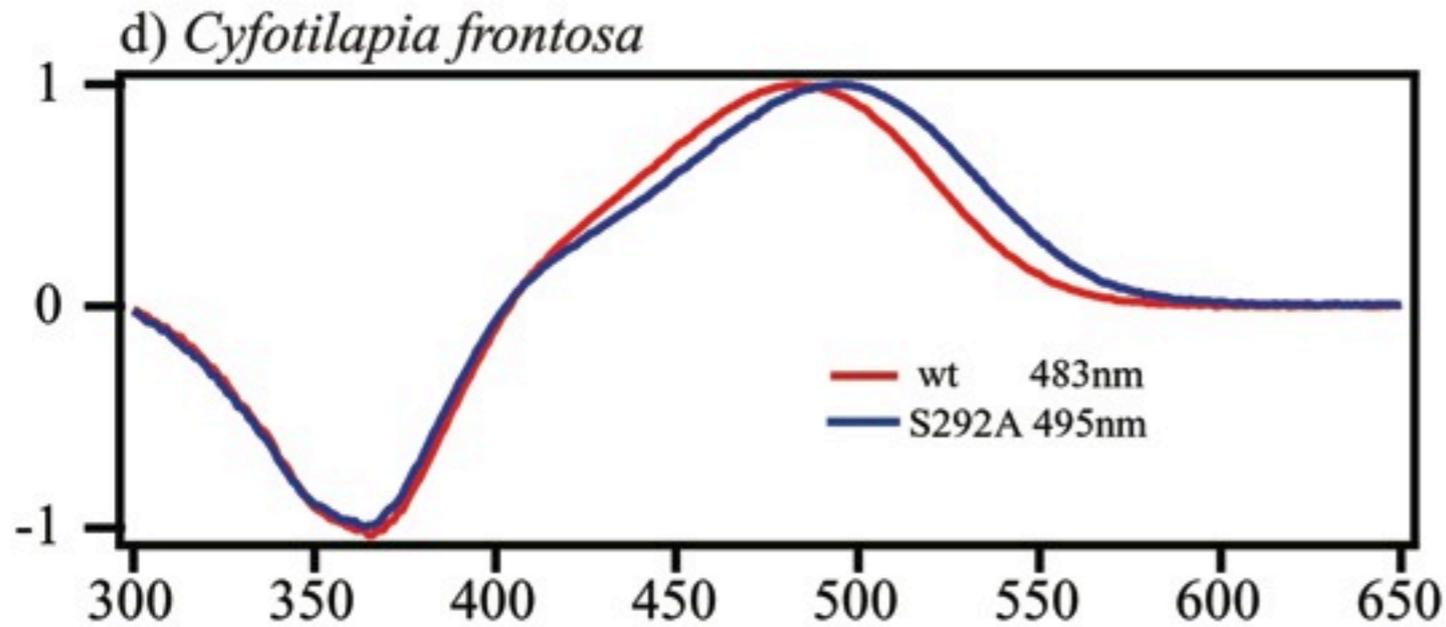
精製



吸収波長の測定

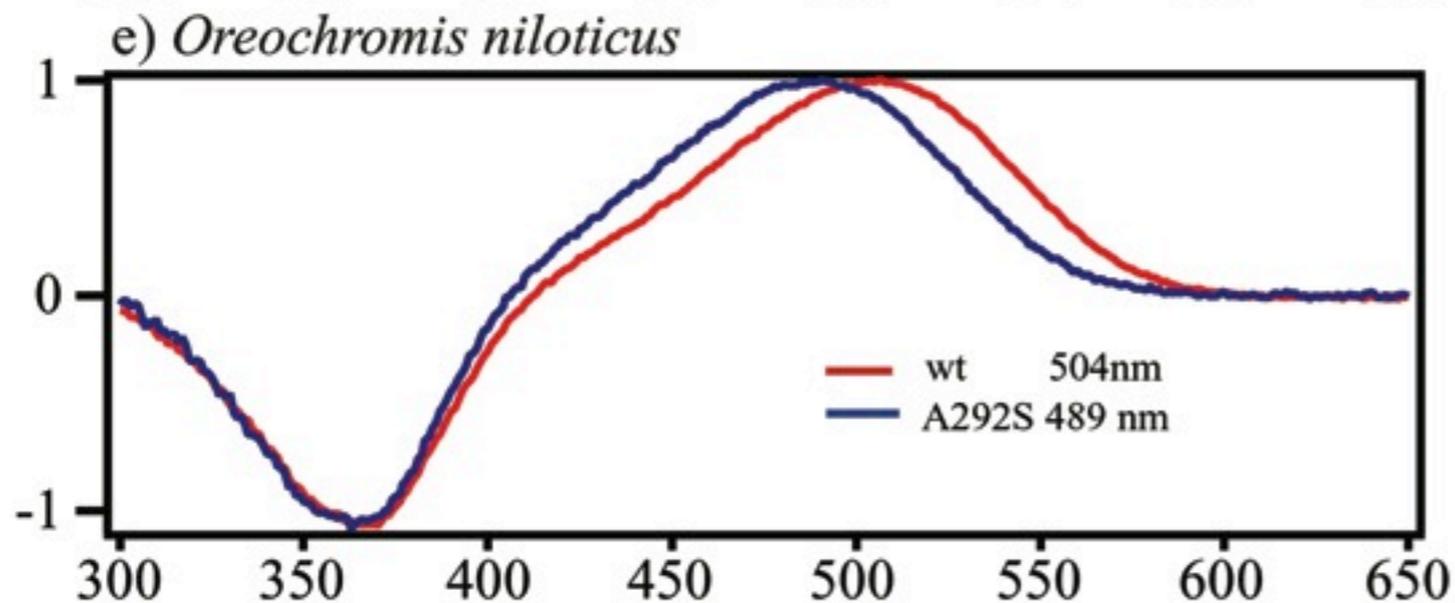


# RH1の機能



深場の種：292S, 483 nm

292Sの配列を292Aに  
すると浅場の吸収に



浅場の種：292A, 504 nm

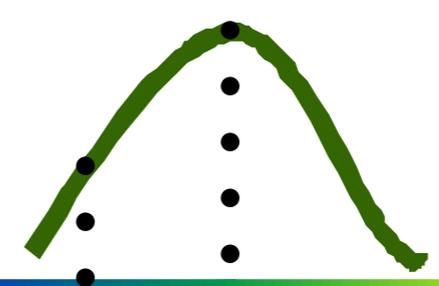
292Aの配列を292Sに  
すると深場の吸収に

292番目のアミノ酸置換で機能変化



# RH1の適応

浅い種 of RH1



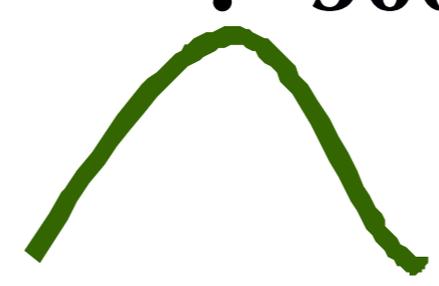
浅い

深い



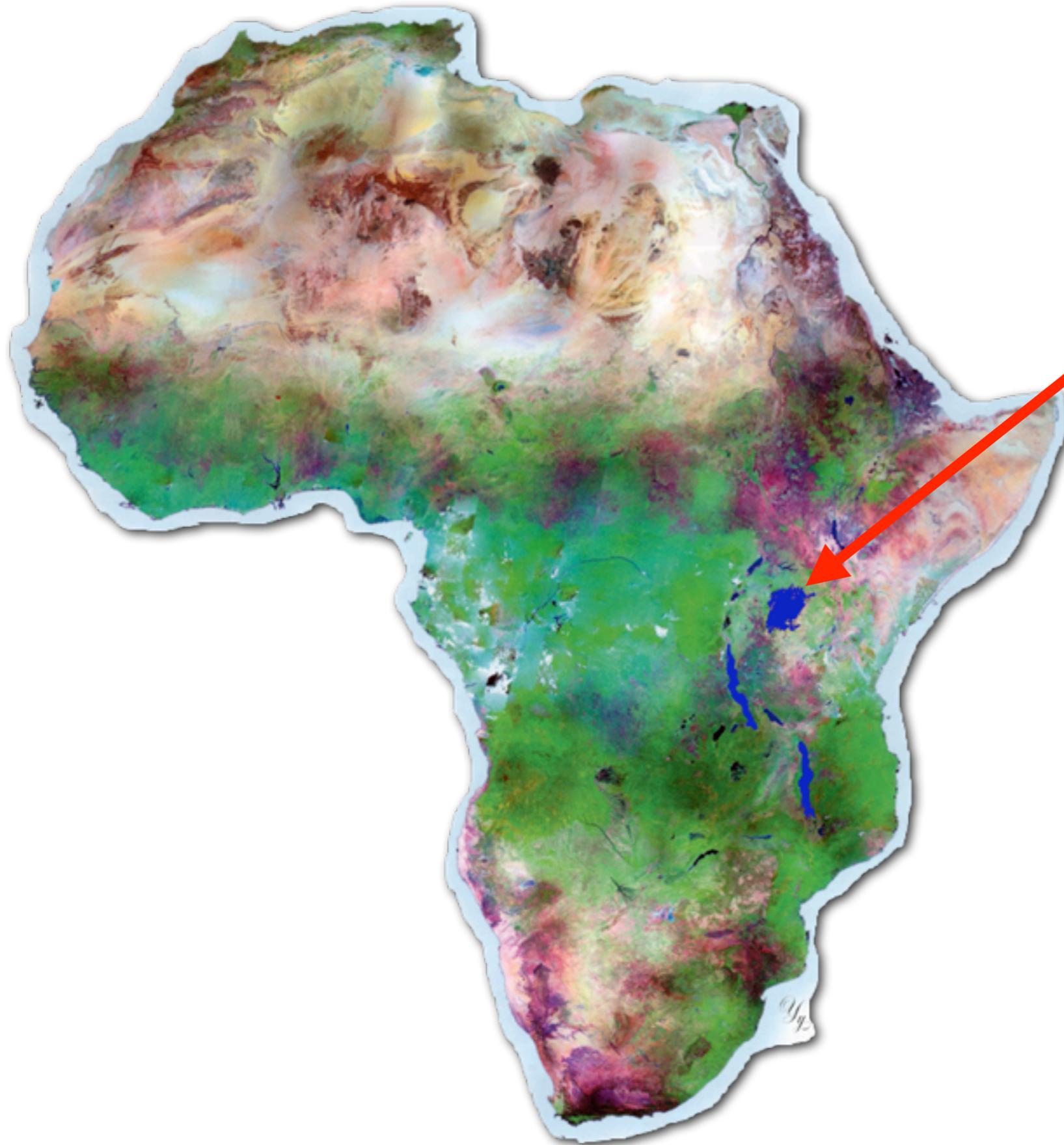
よく見えないと生き残れない

深い種 of RH1



深い種 of RH1 は深い水深の光の環境に適応

# ヴィクトリア湖



## ヴィクトリア湖

500種以上生息

99 %以上の固有性

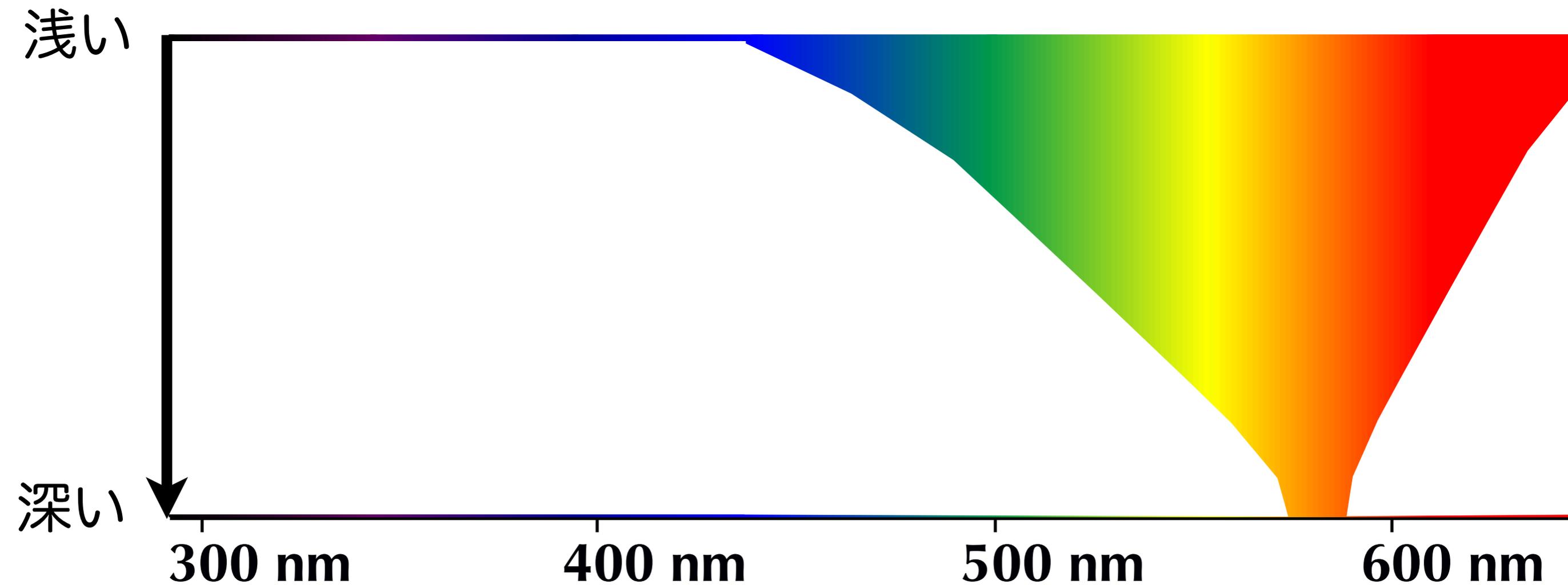
成立後14,000年程度

とても新しい湖

1万4千年程度

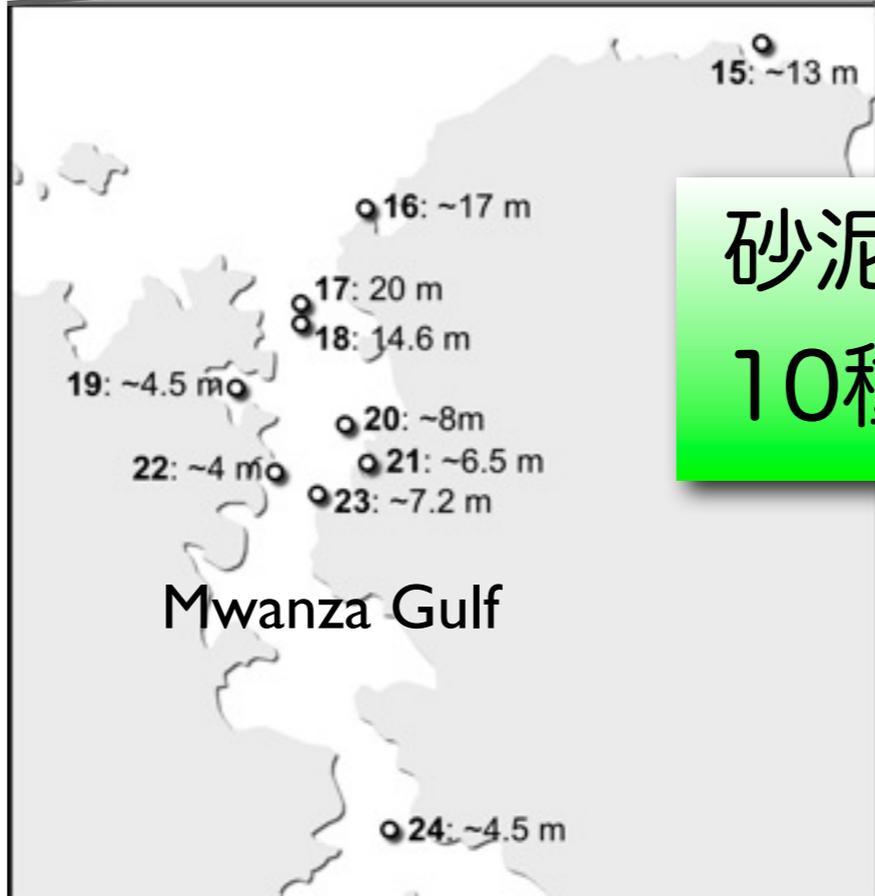
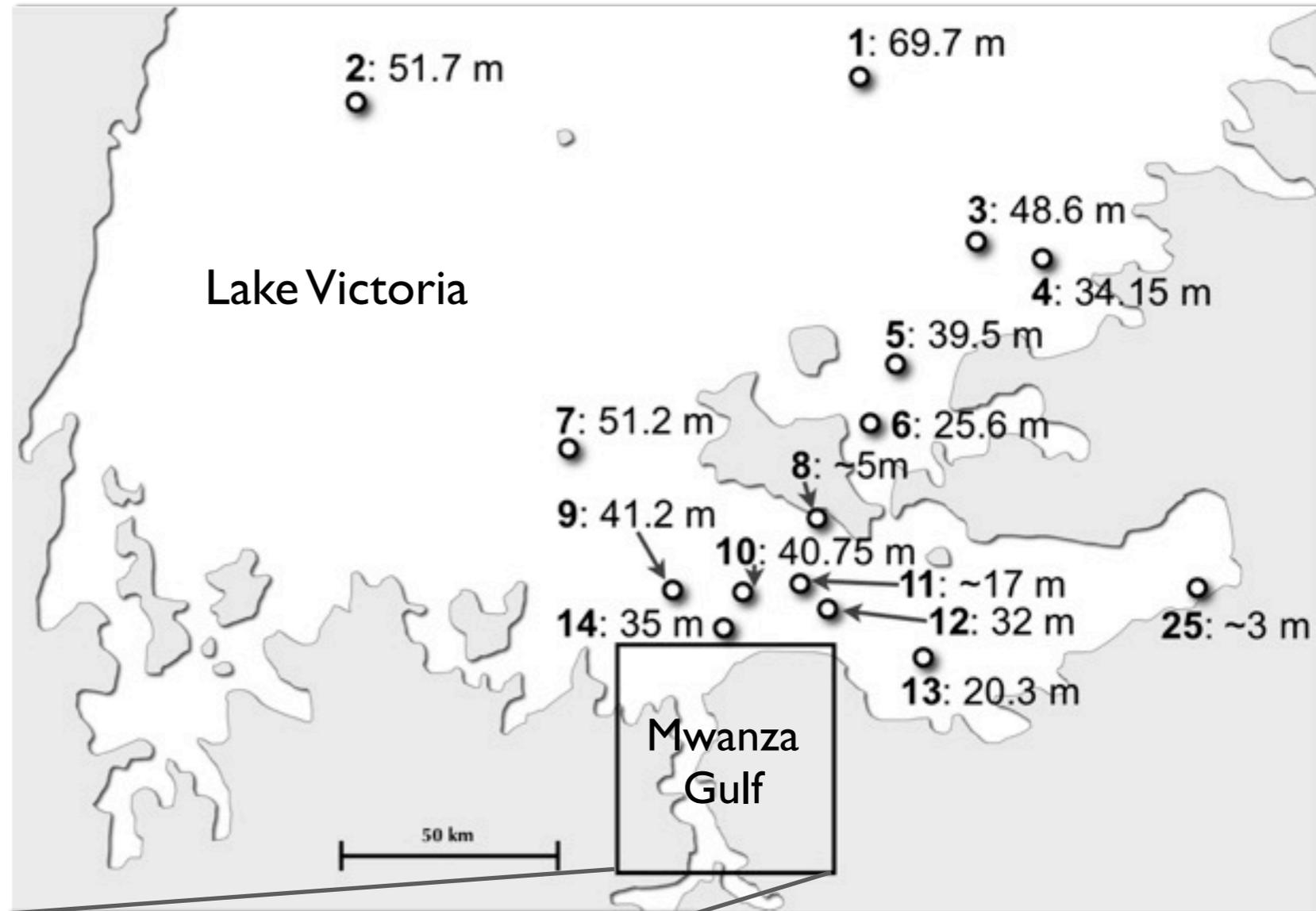
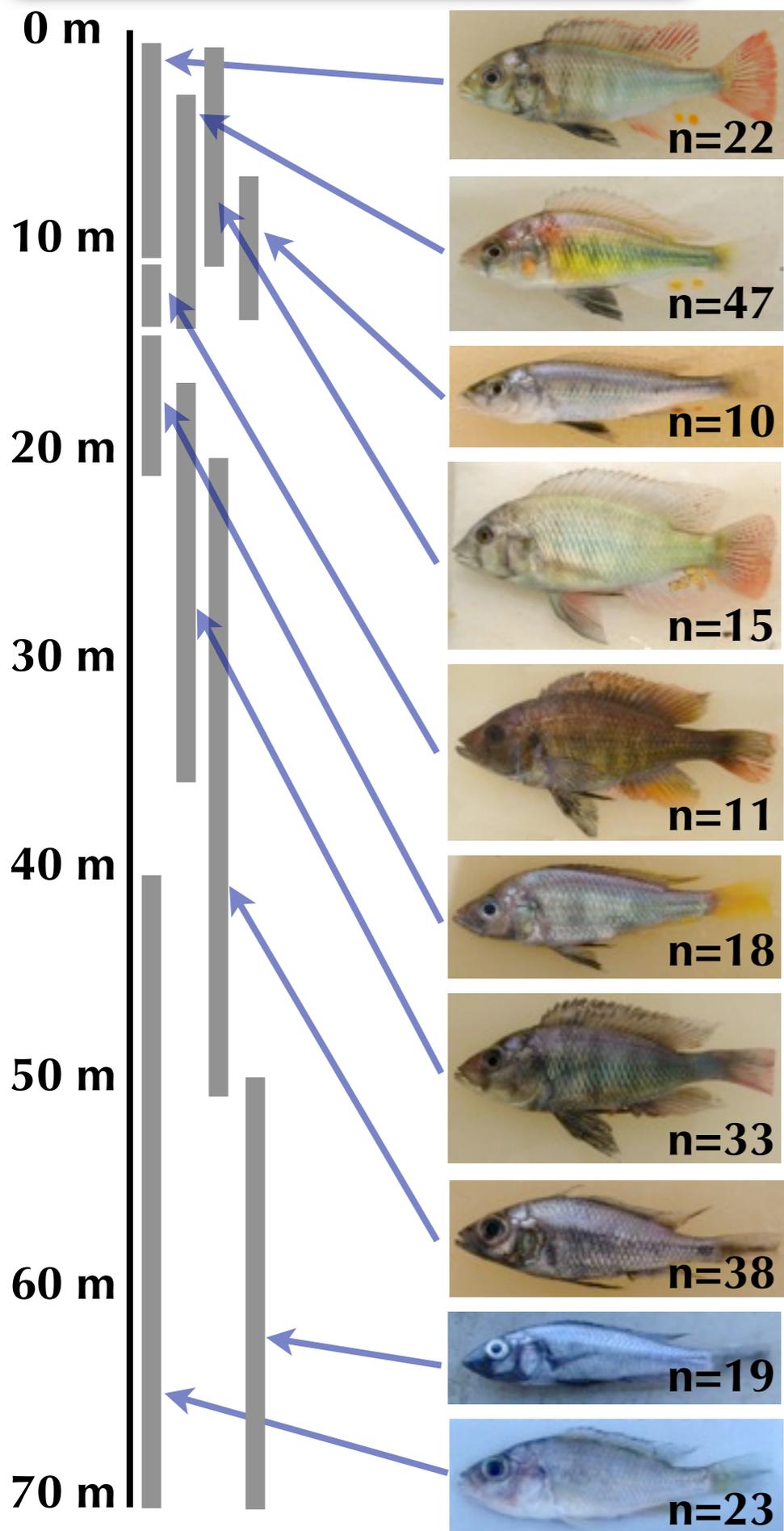
透明度が低い

# ヴィクトリア湖の水中の光環境



水深が深くなるにつれてオレンジの光が残る

# 採集地点とサンプル



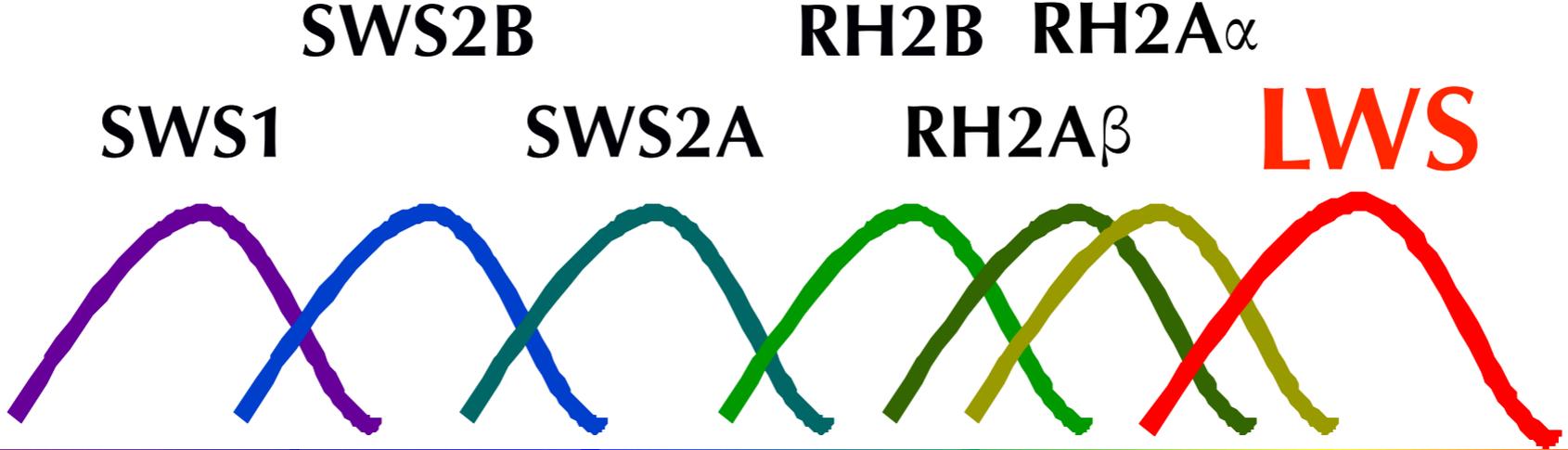
砂泥地に生息する  
10種を用いた

種間の遺伝的分化は  
小さい(mtDNA:  $F_{st} < 0.2$ )

# シクリッドのオプシン

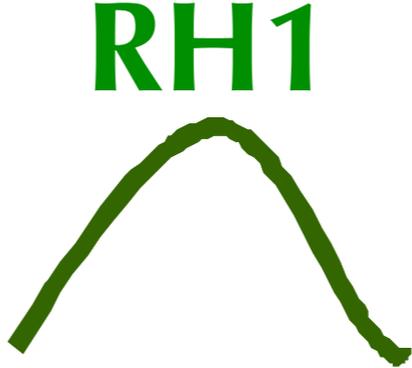
cone

色覚



rod

薄明視



300 nm

400 nm

500 nm

600 nm

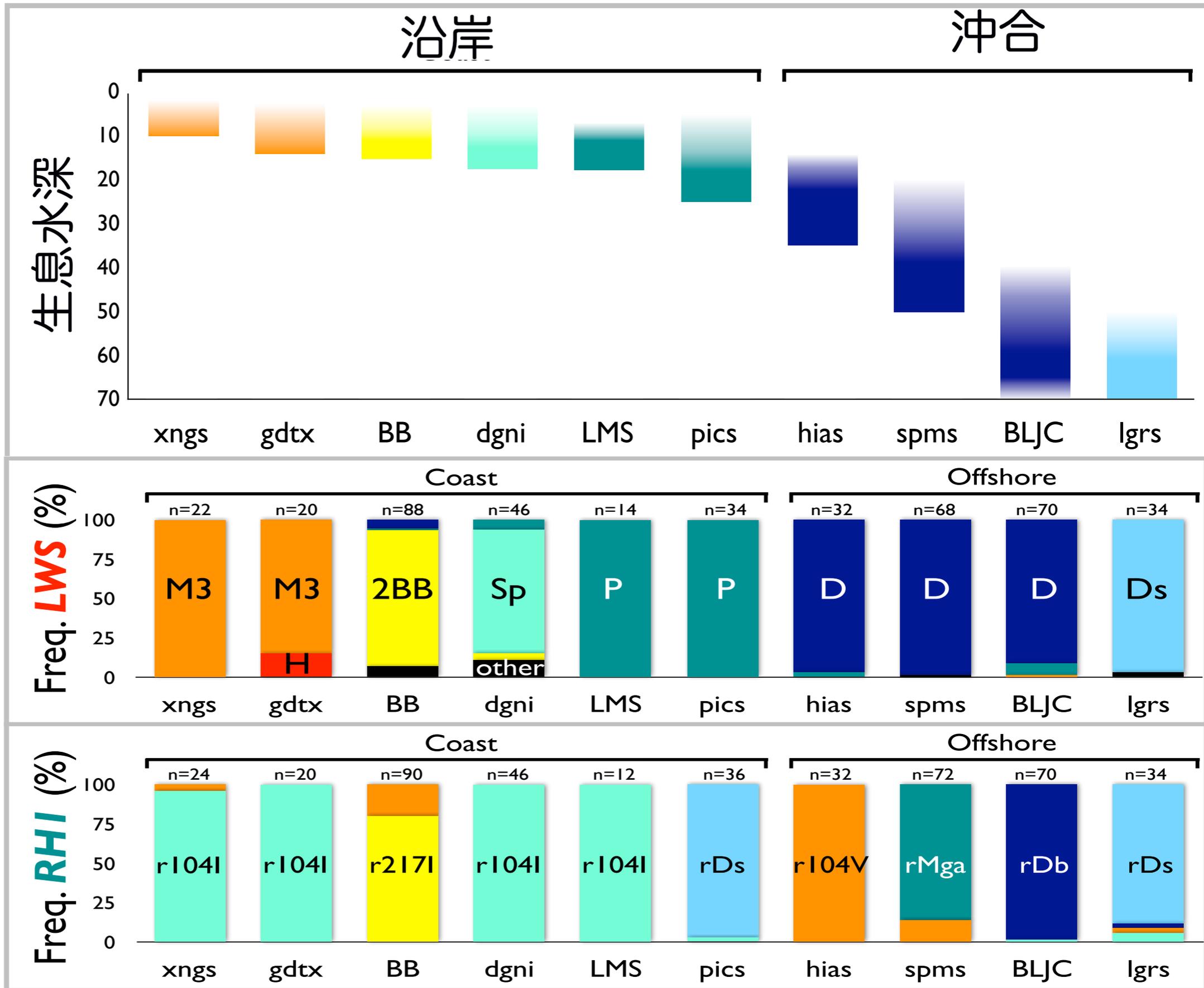
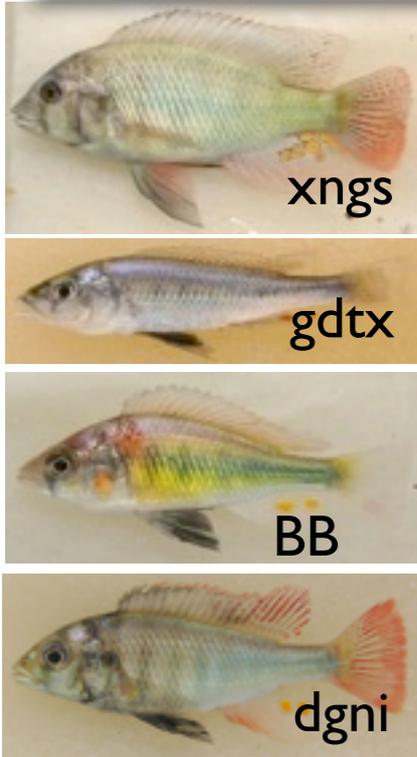
300 nm

400 nm

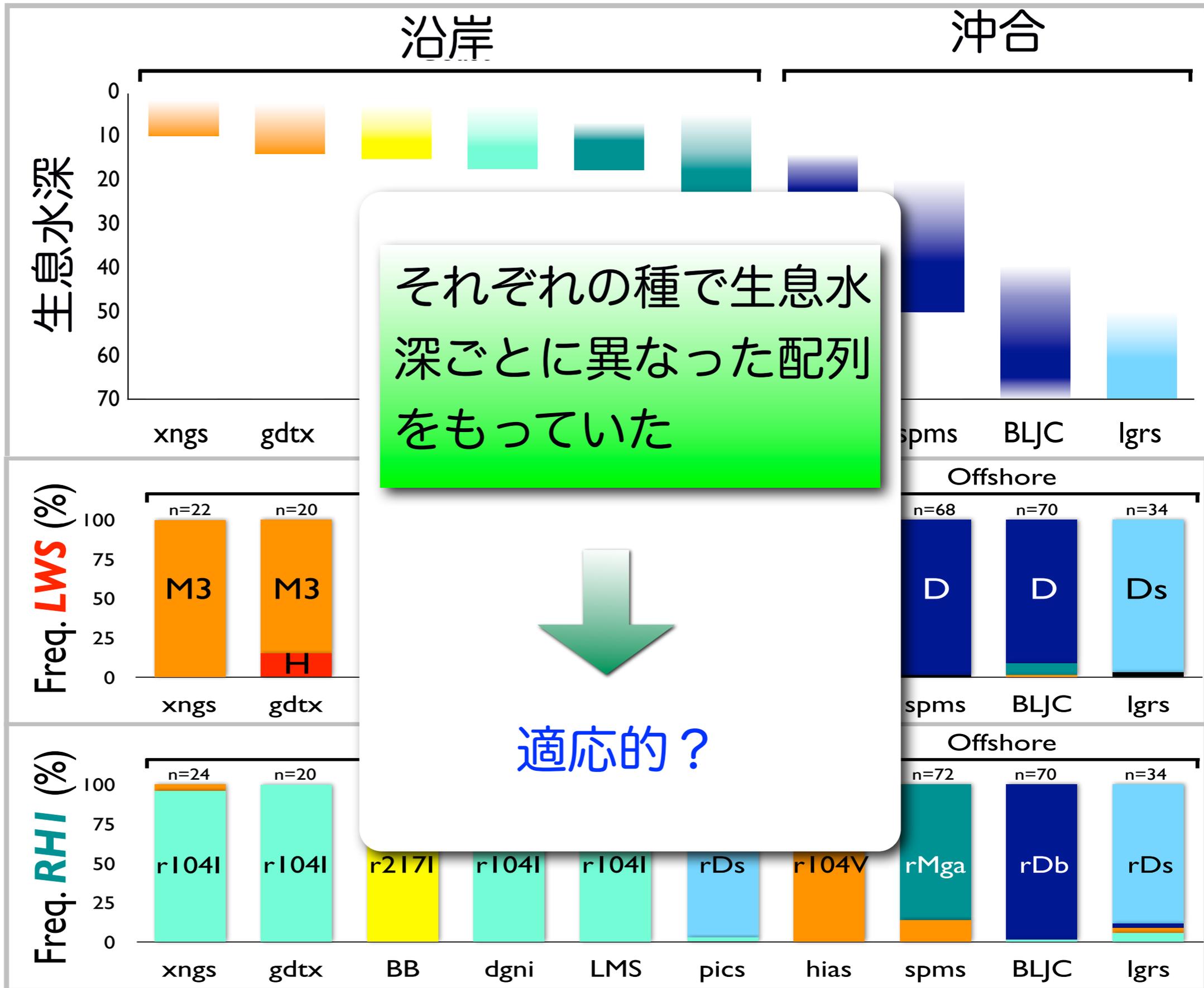
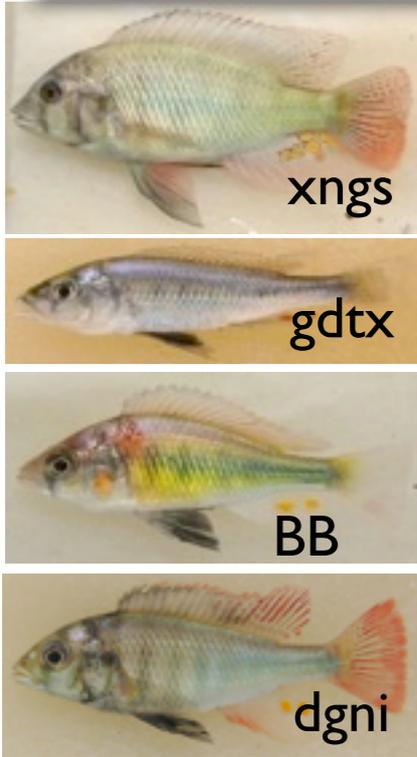
500 nm

600 nm

# LWSとRH1のアリル分布



# LWSとRH1のアリル分布



# ヴィクトリア湖でのRH1の適応

浅い種 of RH1

浅い

深い

300 nm

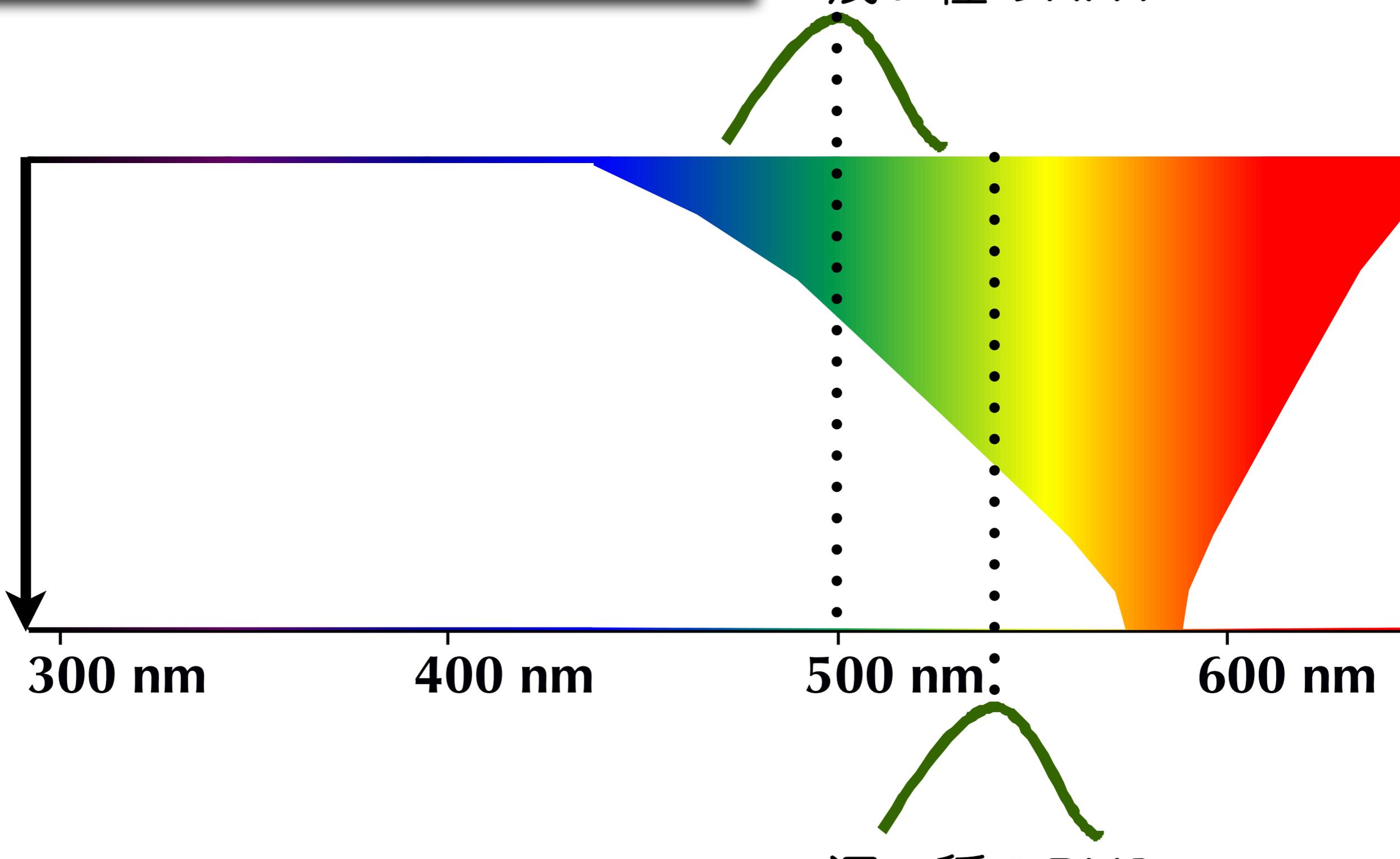
400 nm

500 nm

600 nm

深い種 of RH1

深い種 of RH1 は深い水深の光の環境に適応



# ヴィクトリア湖でのLWSの適応

浅い種のLWS

浅い

深い

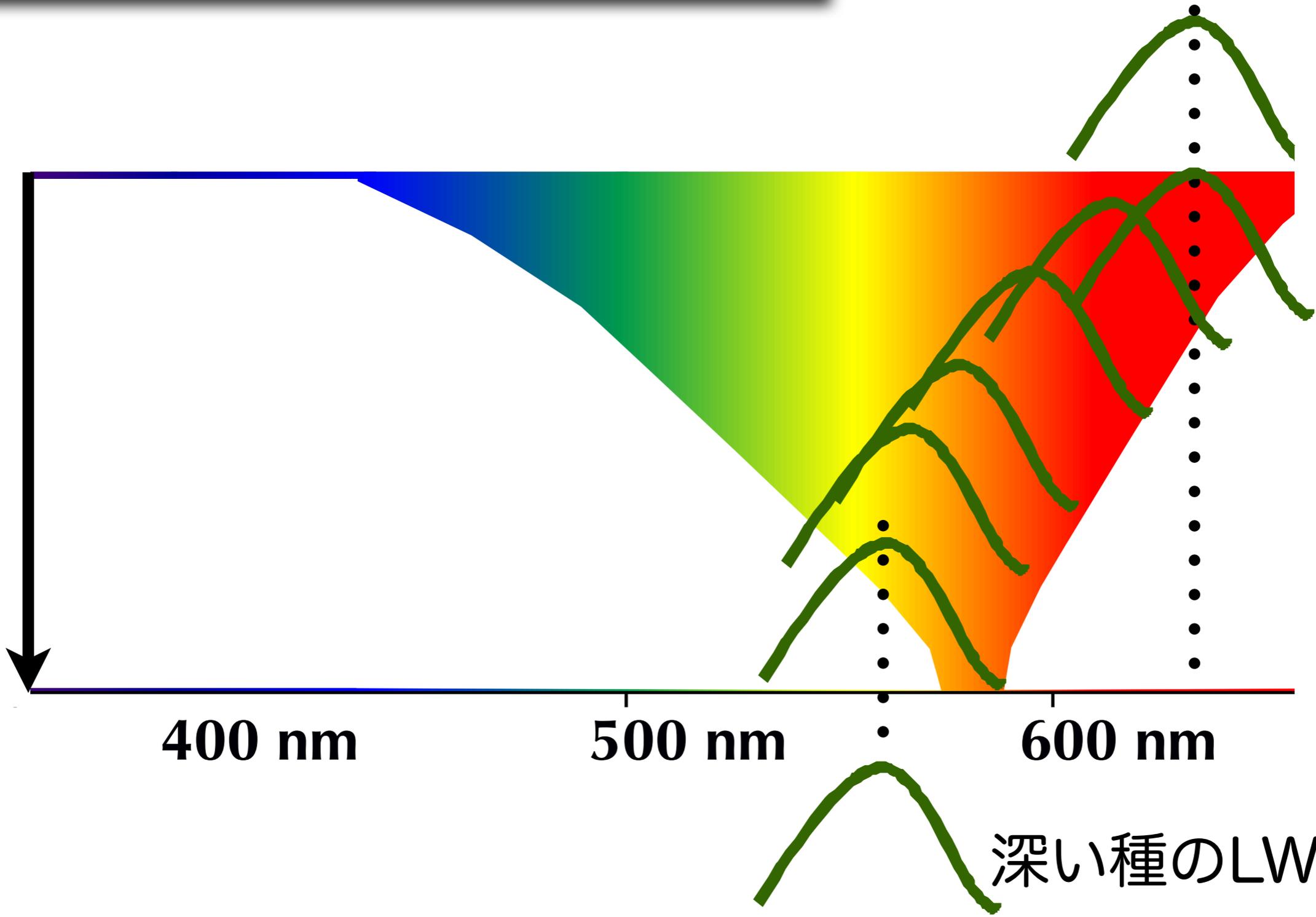
400 nm

500 nm

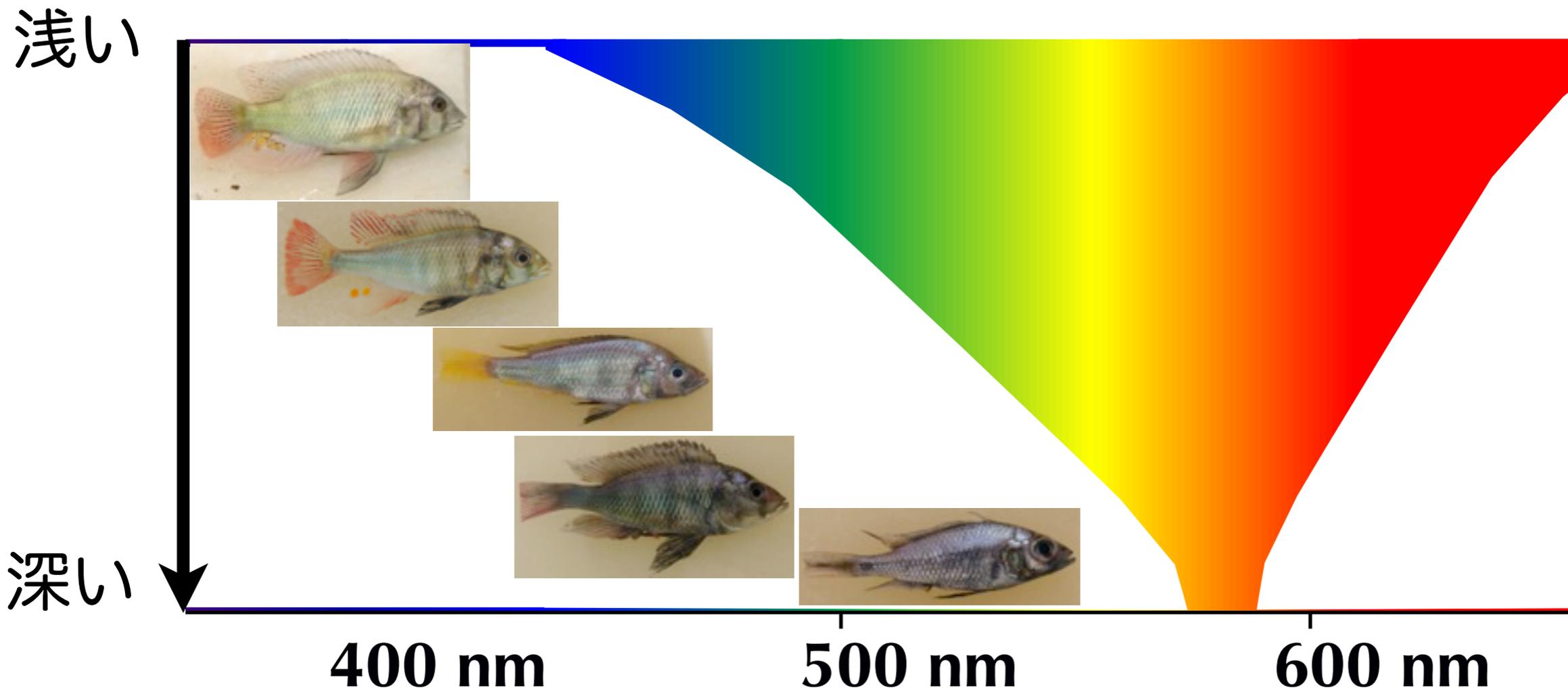
600 nm

深い種のLWS

LWSは水深により変化する光の環境に適応



# 視覚の適応



シクリッドは生息する環境の光を利用できるように進化

よく見えないと生き残れない

適応の証拠

# 生物の進化はどのようにして起きてきたか？

- 適応

- 種分化

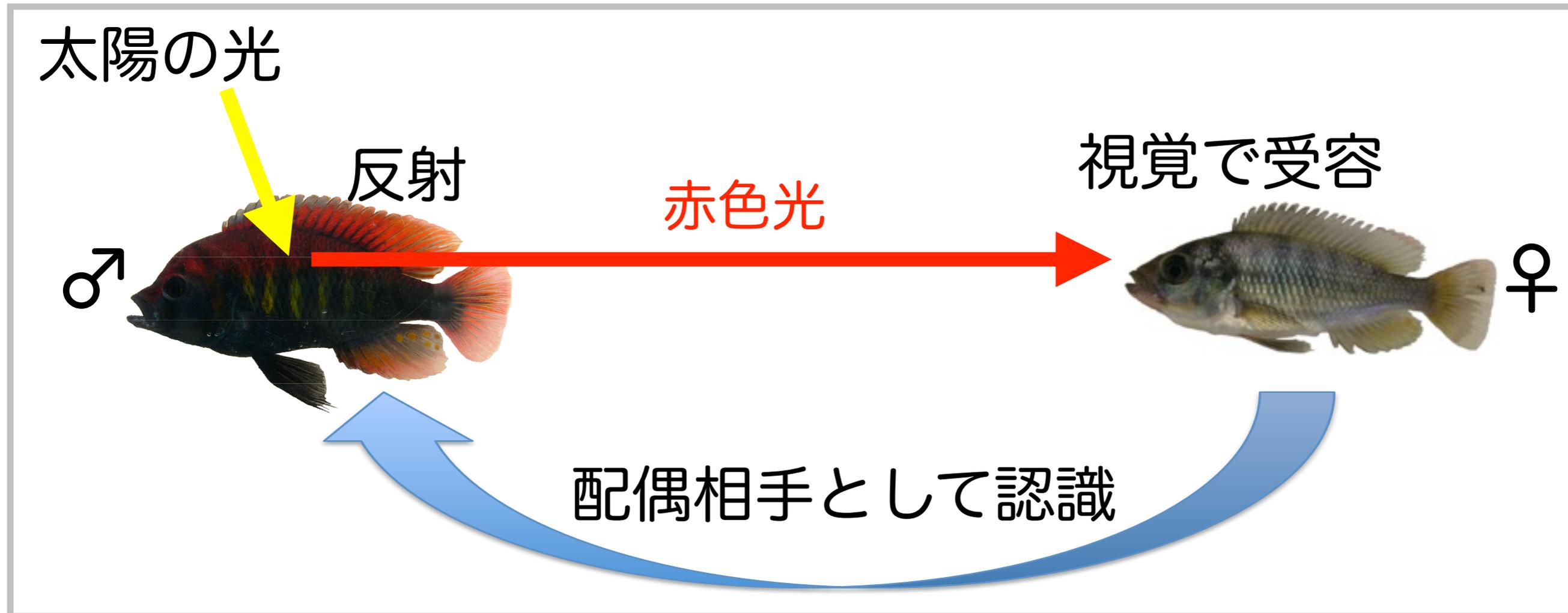
オプシン遺伝子の適応



種間の交配がなくなる

# 繁殖の際に

体表で反射した光が繁殖のシグナル



Movie



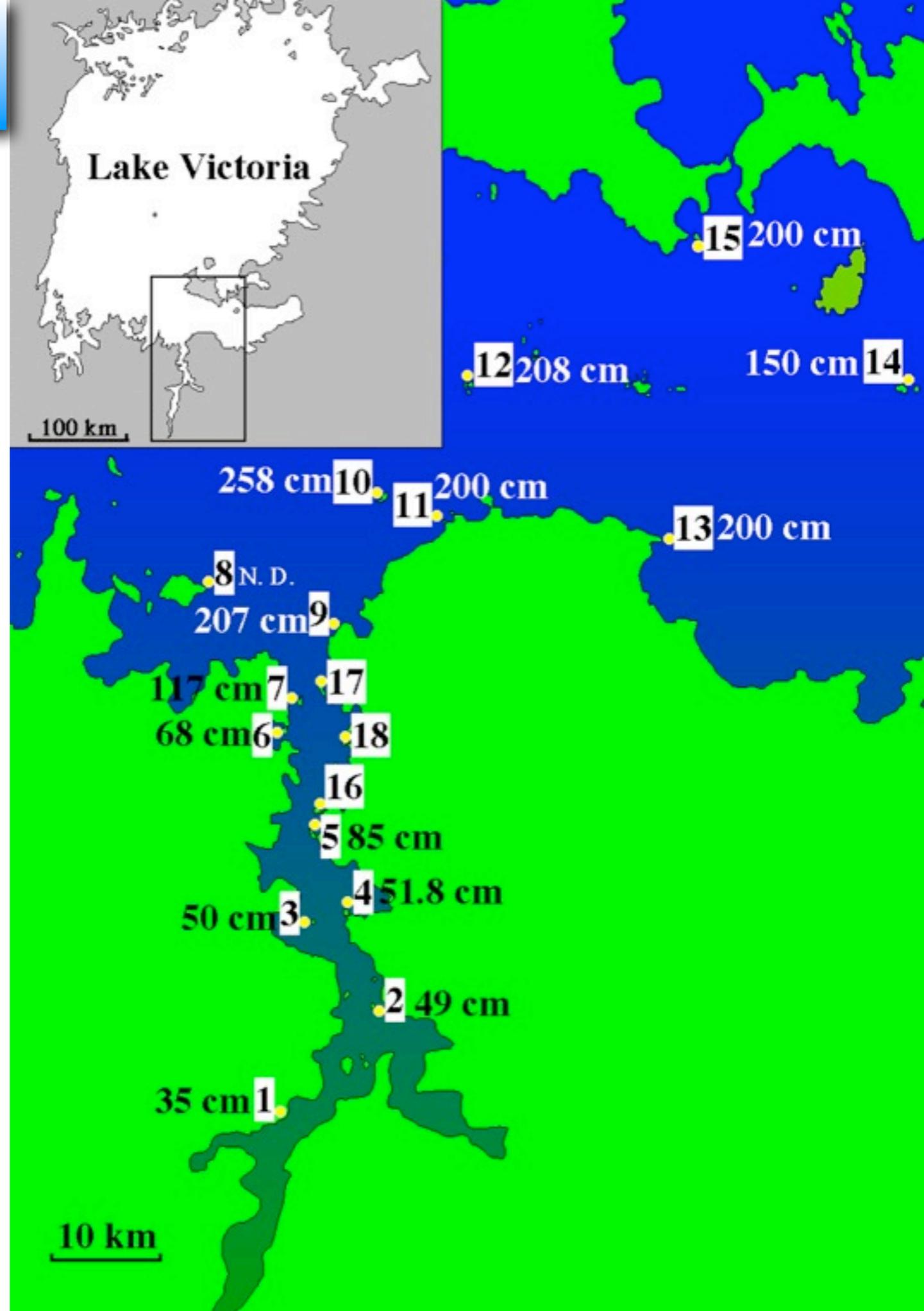
視覚(見え方)が変わってしまったら？

# 異なる透明度に分布する種

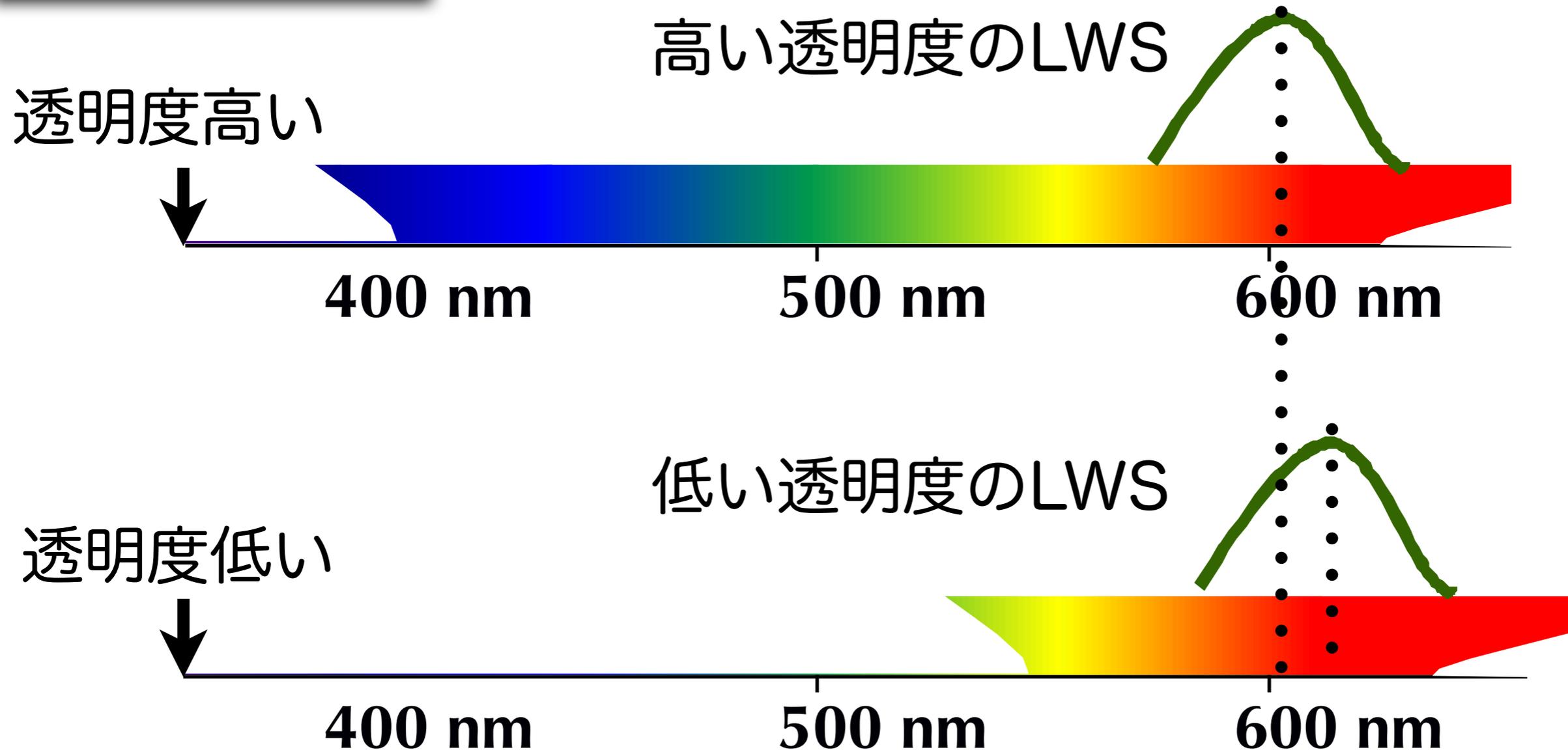
50~250 cm

*Neochromis greenwoodi*

LWS遺伝子を解析した



# LWSの適応

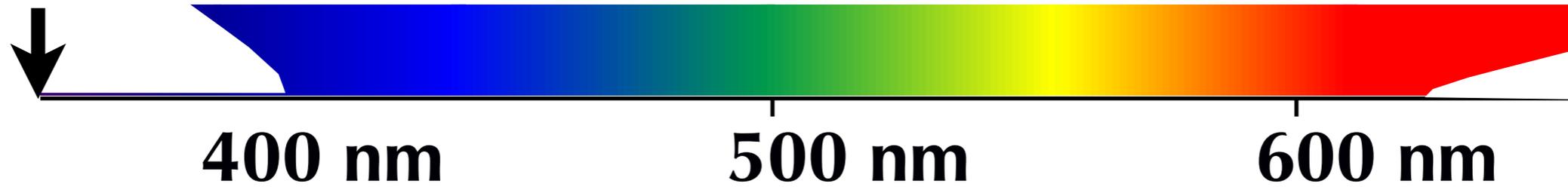


シクリッドは生息する環境の光を利用できるように進化

# 婚姻色の進化

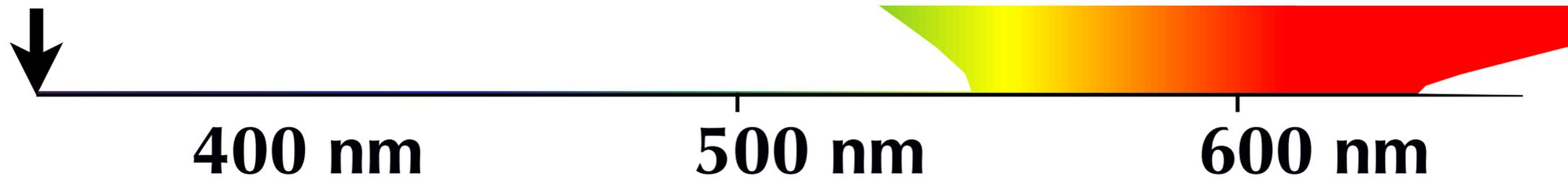
高い透明度の婚姻色

透明度高い



低い透明度の婚姻色

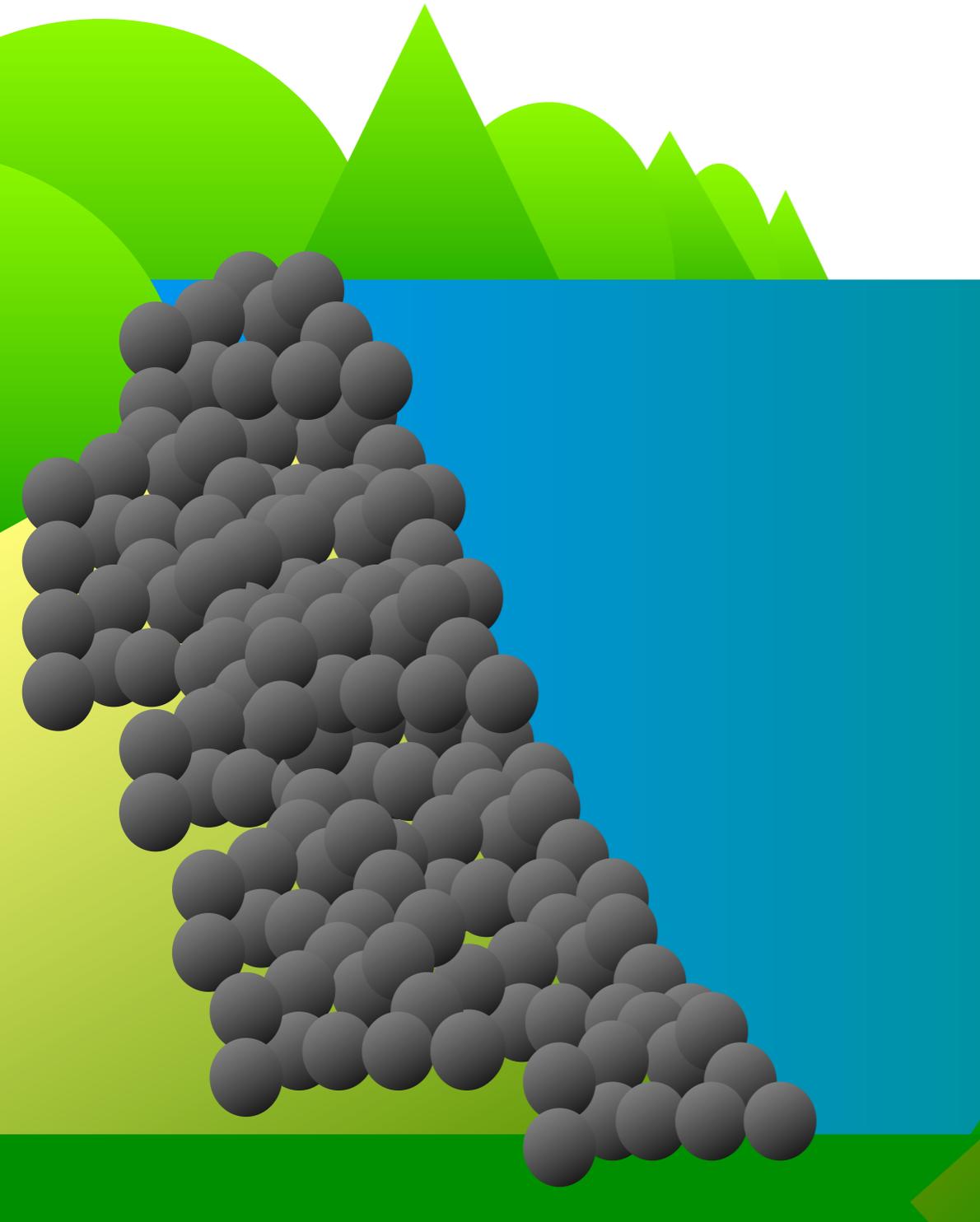
透明度低い



適応した視覚に目立つ色に婚姻色が進化

# 異なる深さに生息する種

これらの2種は同じ岩場の異なる深さに生息



*Pundamilia pundamilia*

浅瀬の岩場に生息

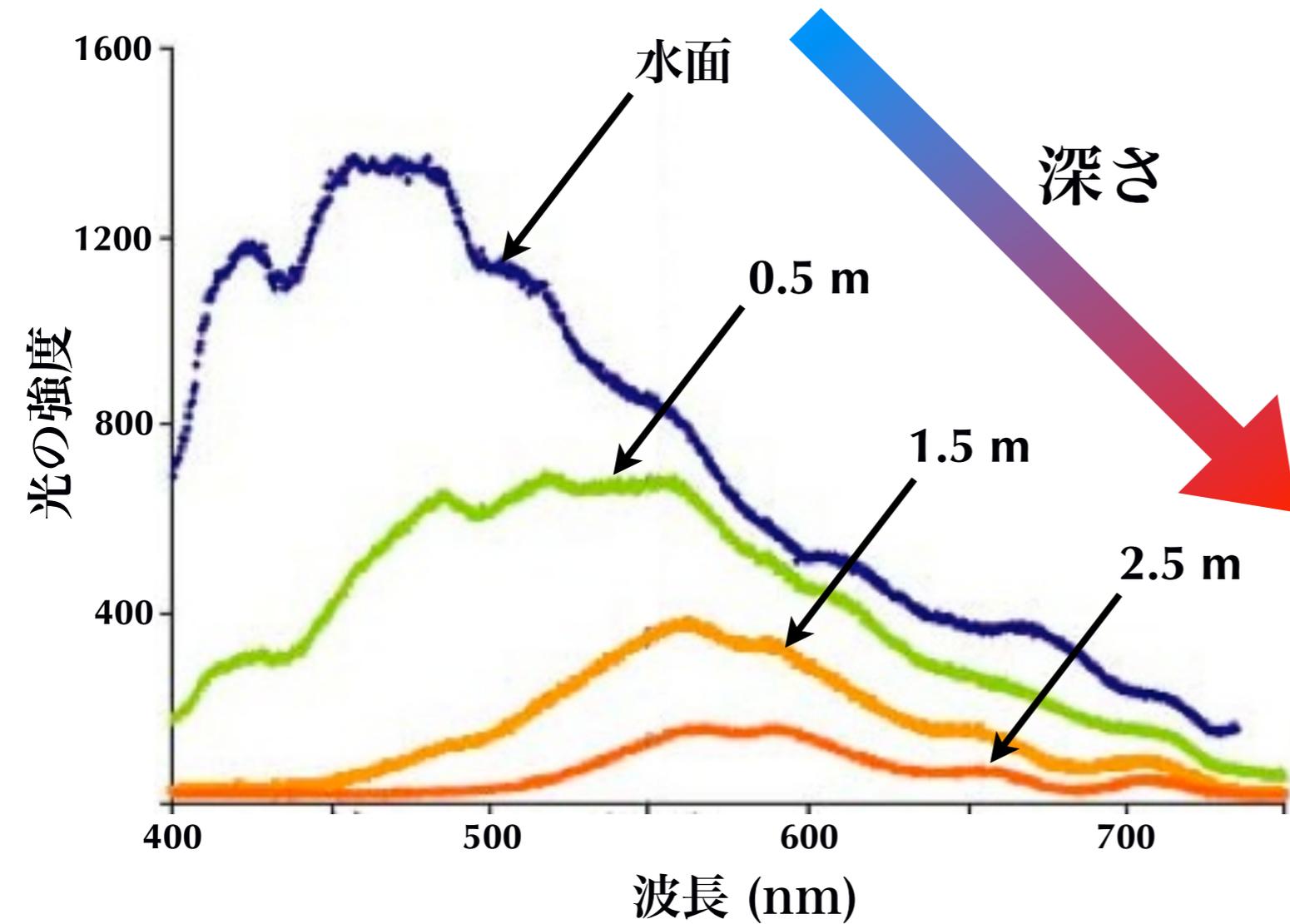
*Pundamilia nyererei*

比較的水深のある  
岩場に生息

# 水中の光環境

深さにより異なった光の成分：

透明度: 85 cm



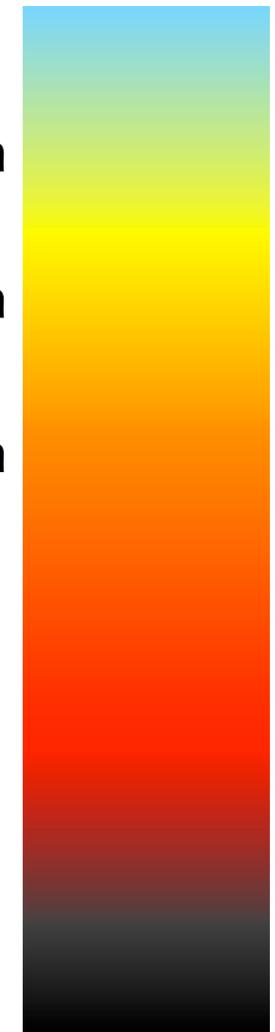
透明度  
85 cm

水面



透明度  
258 cm

水面



Blue

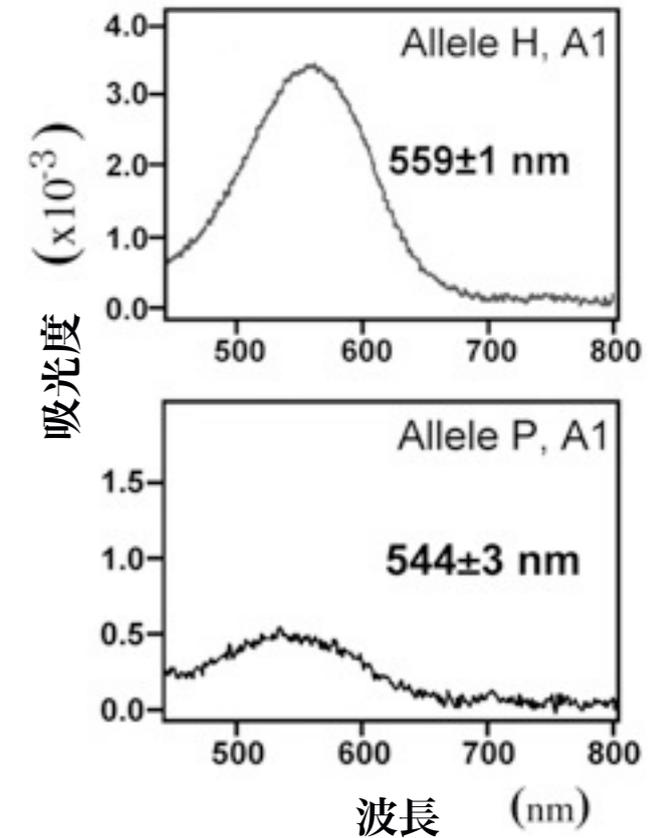
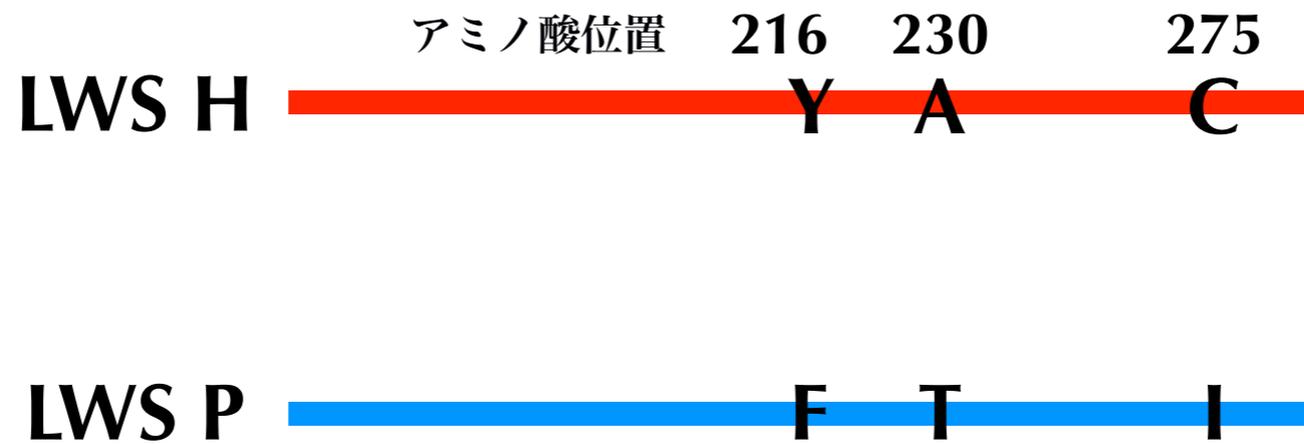
Red

よりなだらかに変化

深くなるに従い、短波長から長波長へ光の主な成分が変化していた

# LWSの適応

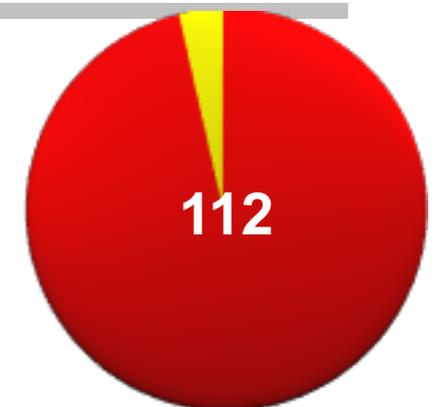
2種で見られた  
LWSの配列：



透明度 85 cm

透明度 258 cm

- P
- H
- M3
- other



*P. pundamilia*

*P. nyererei*

*P. pundamilia*

*P. nyererei*

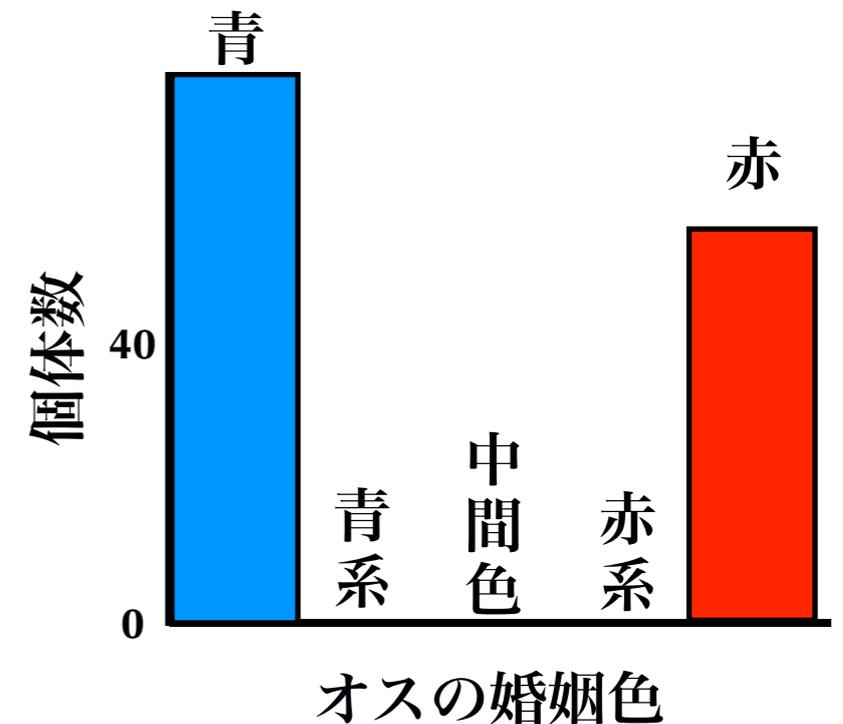
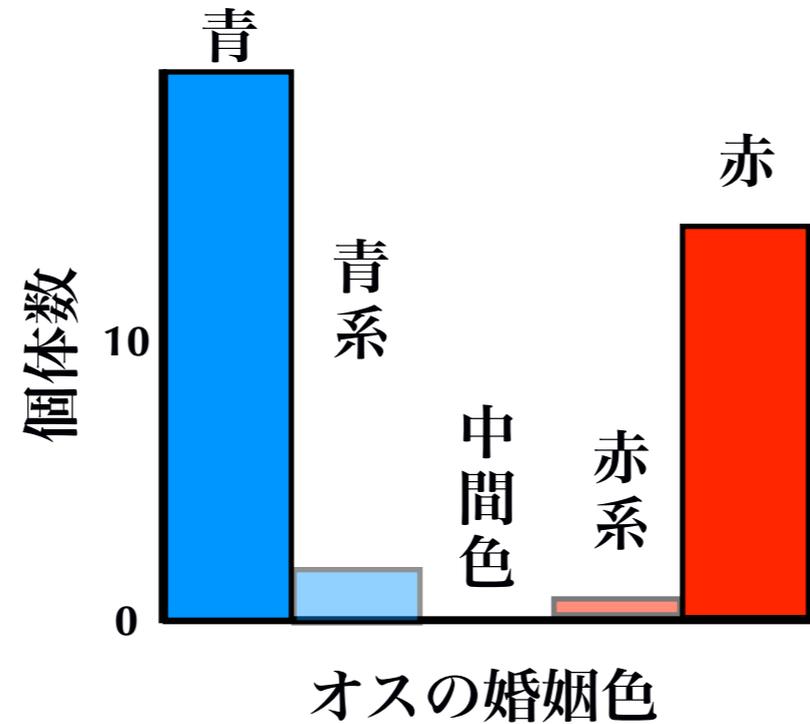
LWSのアリルが適応的に分化していた

# 婚姻色と好みの分化

透明度 85 cm

透明度 258 cm

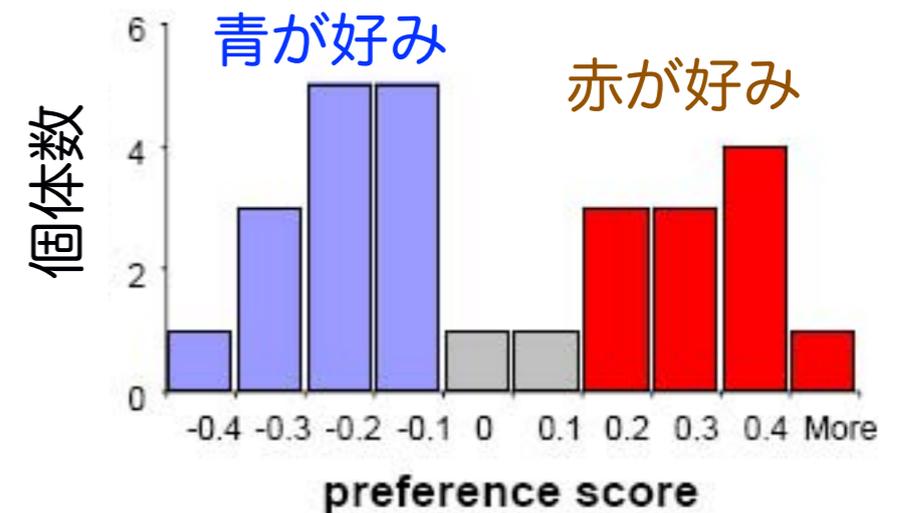
## 婚姻色の分化



視覚の適応的分化に伴い  
婚姻色と好みも分化していた

生殖的隔離、種分化

## 好みの分化



環境への適応が種分化を引き起こす

## 種分化の機構、Sensory Drive

視覚が異なる  
光環境に適応

目立つ相手

(シグナルが合う相手)と交配

交雑しない

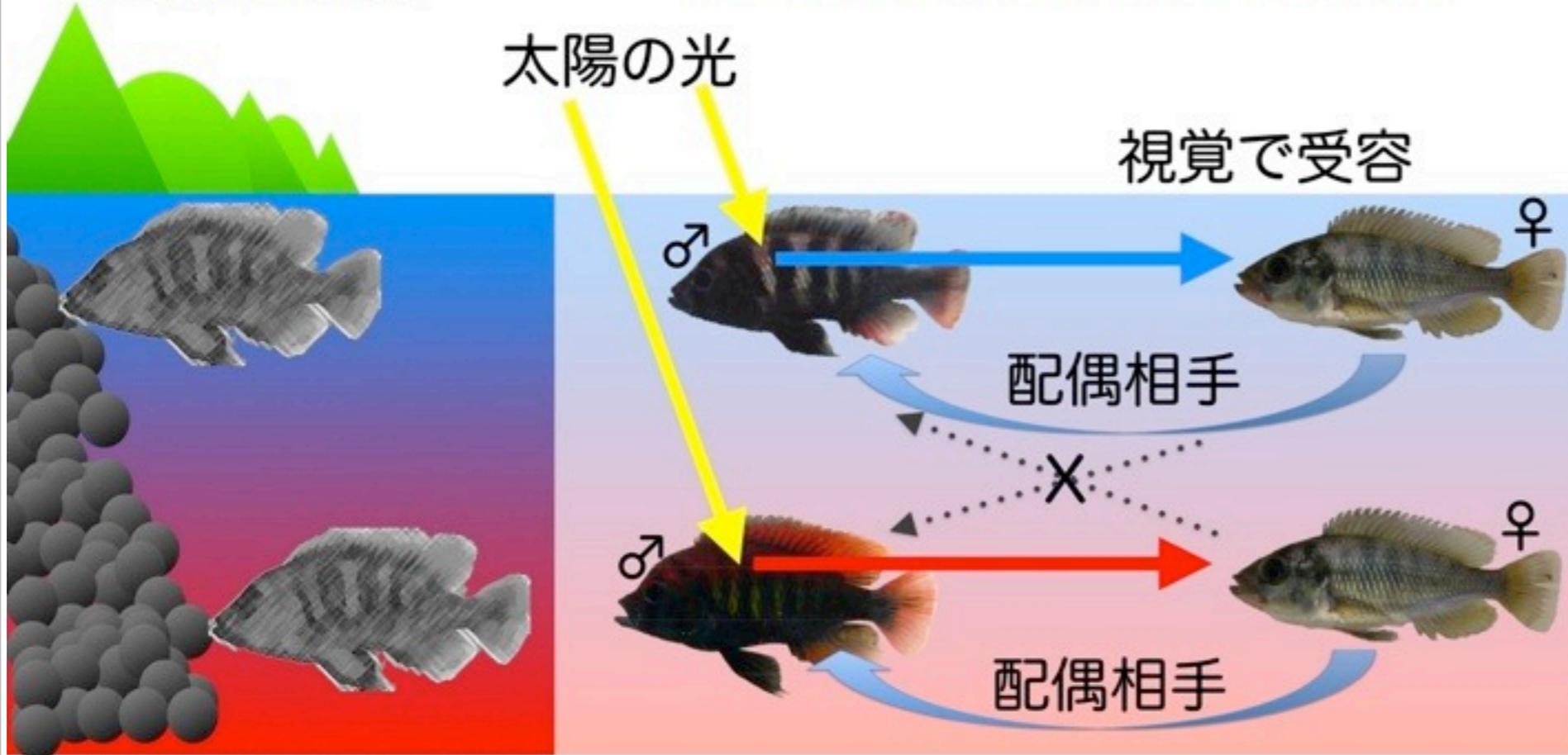
太陽の光

視覚で受容

視覚が分化し  
体色が分化すると、  
相手が目立たない  
種分化

オスの体色がメスに  
目立つように進化

種分化は環境適応の副産物



# 謝辞

## 総合研究大学院大学

颯田葉子教授

大田竜也准教授

田辺秀之准教授

五條堀淳助教

蟻川謙太郎教授

木下充代講師

総研大のみなさま

## タンザニア水産研究所(TAFIRI)

Semvua Mzighani

東京工業大学

岡田典弘教授

溝入真治博士

相原光人博士

## 京都大学霊長類研究所

平井啓久教授

今井啓雄准教授

菅原亨博士

## 九州大学

舘田秀典教授

## Bern大学

Ole Seehausen博士

## 北海道大学

黒岩麻里准教授

## 神戸薬科大学

和田昭盛教授

沖津貴志助教

## 国立遺伝学研究所

豊田敦 准教授