

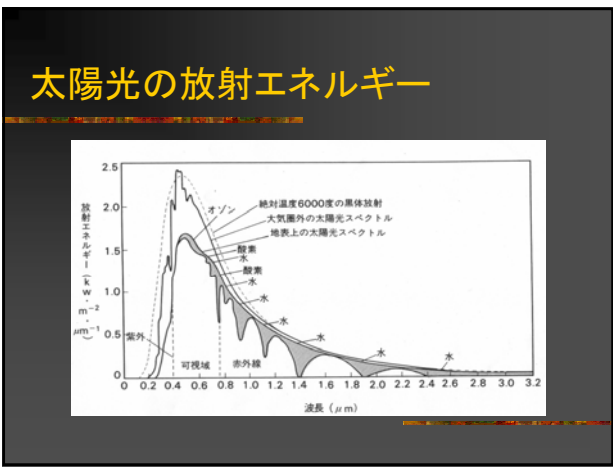
光と生物

光技術と生物のかかわり

宇都宮大学
オプティクス教育研究センター
谷田貝 豊彦

光のはたらき

- エネルギー
 - ・生きる、運動、
- 情報
 - ・感覚(視覚)、コミュニケーション



光と情報

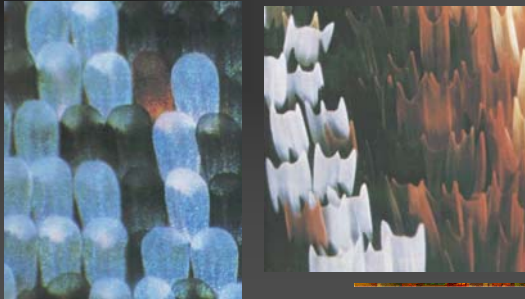
- 生物の色
- 視覚
 - 色々な眼
- 透明な生物

生物の色

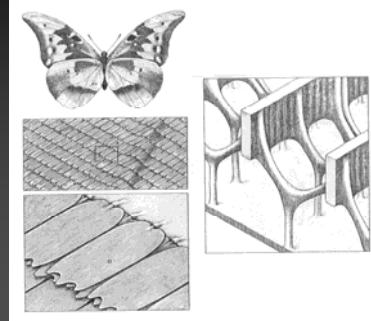
- 昆虫の色
 - 干渉色(構造色)
- 蛍の光
 - ATPによる発光
- 魚の色
 - フォトルミネッセンス



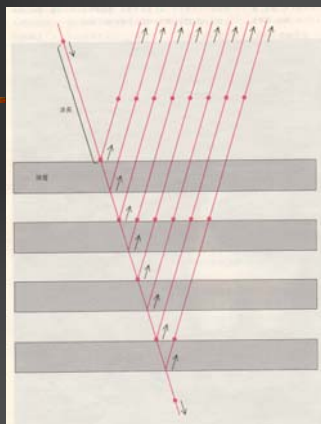
蝶と蛾の鱗粉



鱗粉の微細構造



多層膜の反射

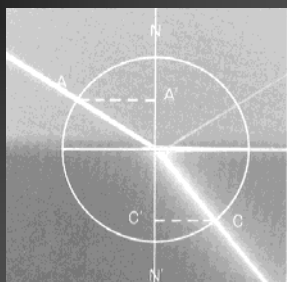


光の波動性

- 光は電磁波で、横波である。
- 干渉、回折、散乱をする。
- 境界面（屈折率の差）での屈折と反射

境界面での反射と屈折

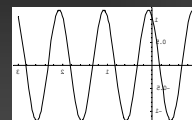
屈折率の異なる境界面では必ず反射おこる。



光の干渉(2)

- 波動の表示

$$f(x, t) = A \cos(2\pi x / \lambda - \omega t + \phi)$$



- 干渉（波動の重ね合わせ）

$$f(x) = a \cos(2\pi x + \phi) + b \cos(2\pi x + \phi)$$

ホタルの発光

ルシフェリン + ATP + 酸素
(基質)

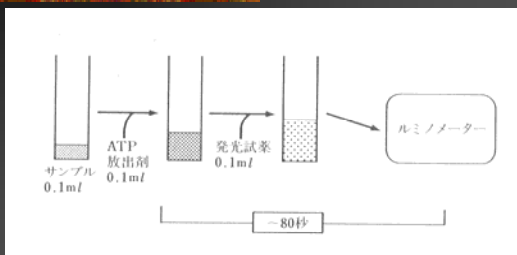
----->
ルシフェラーゼ(酵素)

酸化ルシフェリン + AMP
+ 二酸化炭素 + 光

人工的ホタルの発光

- ルシフェリンの単離
- ルシフェラーゼの量産化
(遺伝子工学技術)

ホタル発光による検出器



ルシフェラーゼ法による微生物の測定 (中野衛一:化学と生物、第29巻)

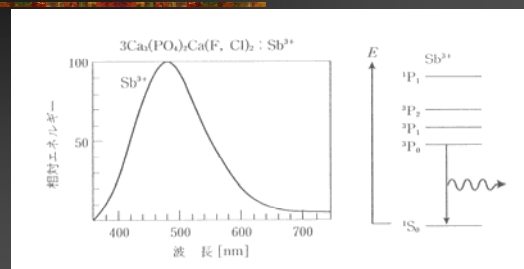
魚の色

- 熱帯魚の色
(フォトルミネッセンス)
- 色や模様を変える魚
(体色神経と色素細胞)
- 発光魚

魚の色(熱帯魚の発光)

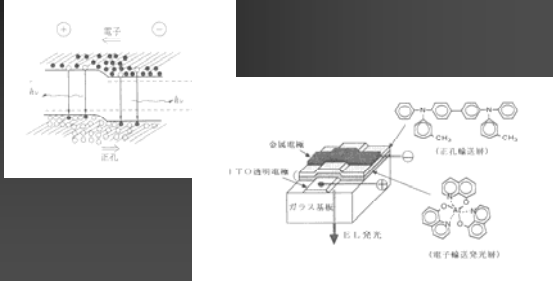


フォトルミネッセンス



ハロゲン酸カルシウムに添加されたアンチモンイオンの発光

有機LED



アクティブマトリクス型 有機ELディスプレイ



アクティブマトリクス型 有機ELディスプレイの構造

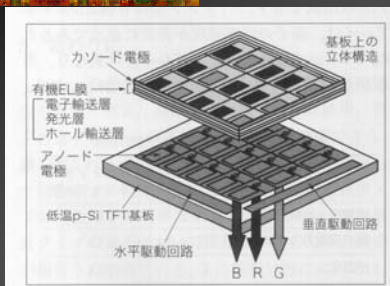
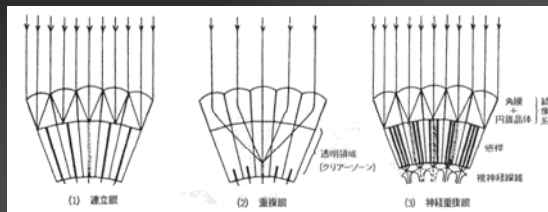


図1 アクティブマトリクス型有機ELディスプレイの構造

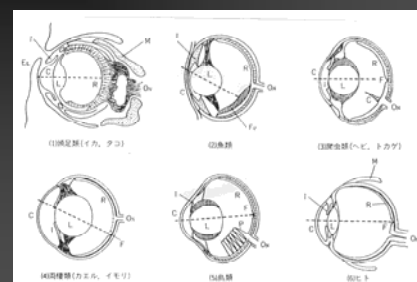
光と情報

- 生物の色
- 視覚
色々な眼
- 透明な生物

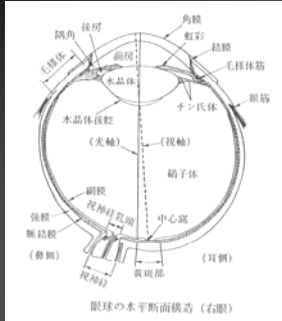
視覚 (様々な眼)(昆虫の複眼)



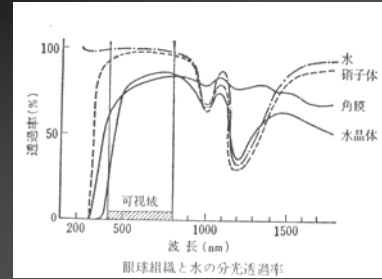
視覚 (様々な眼)(カメラ眼)



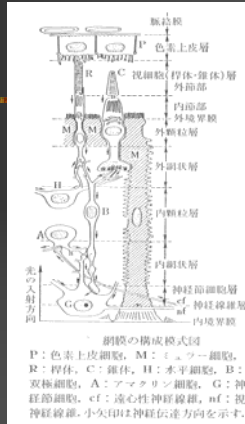
人間の眼(カメラ眼)



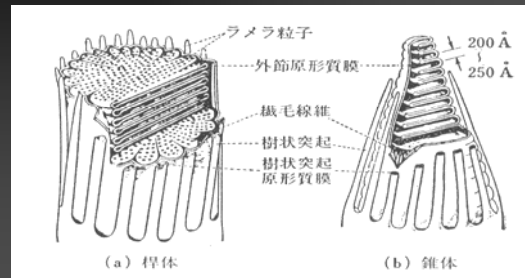
眼球組織の分光透過率



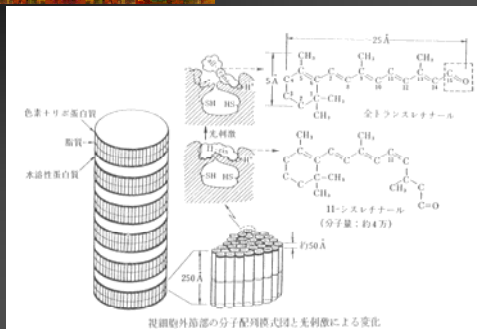
網膜の構成



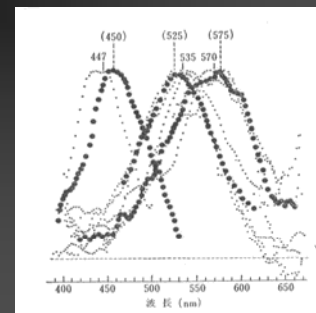
視細胞外節部の構造



視細胞外節部の分子配列と光刺激による変化



網膜の分光感度



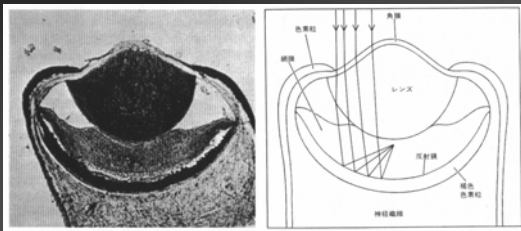
ホタテ貝の眼



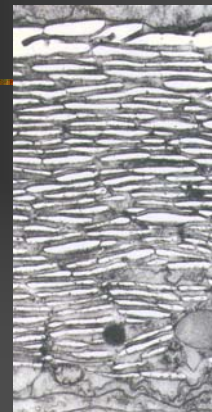
ホタテ貝が見たもの



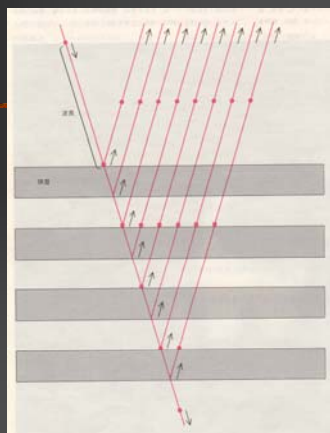
ホタテ貝の眼の断面構造



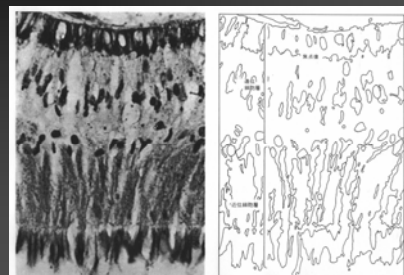
ホタテ貝の鏡



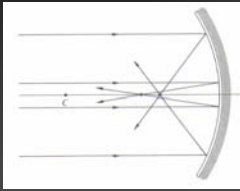
多層膜の反射



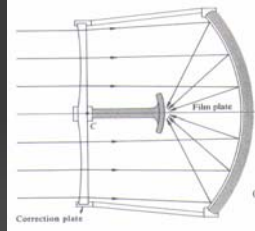
ホタテ貝の網膜



シュミットカメラの光学系

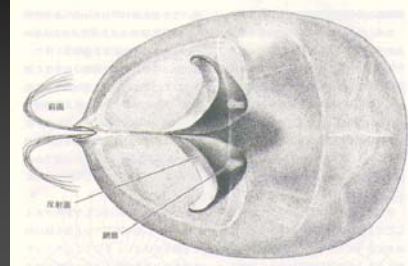


放物面鏡

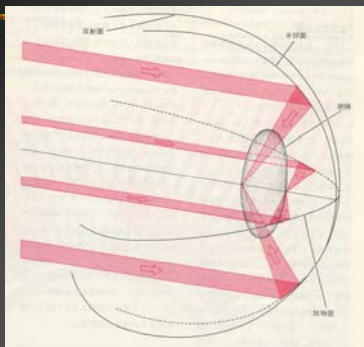


シュミットカメラ

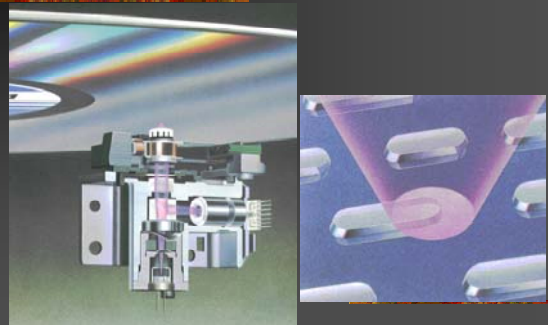
深海甲殻類Gigantocyprisの眼



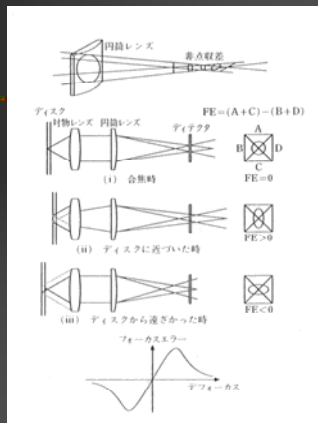
Gigantocyprisの眼構造



光ディスクの光学系



非点収差を用いた 焦点検出



光と情報

- 生物の色
- 視覚
色々な眼
- 透明な生物

透明な生物 ?

- 身を隠す生物
 - 保護色
 - 擬態
 - 無反射(反射防止膜)
- 透明な体

透明なスカシタコ Vitreledonellarichardi



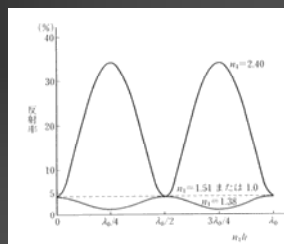
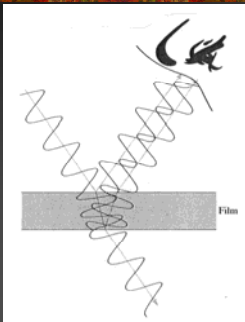
隠しきれない体

- 胃
 - えさの動物や植物は透明でない。
- 網膜
 - 光を吸収する網膜は透明でない。

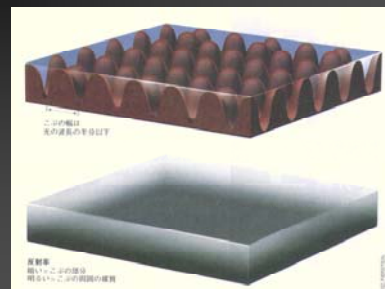
見えない胃

- 反射しない胃
 - 反射防止膜
- ステルス戦闘機

反射防止膜



生物の反射防止膜



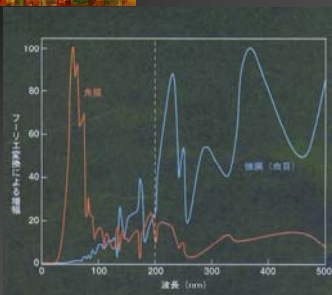
透明な目

- 目を体から離す。
目を長い柄だの先に付ける。
- 非常に小さな網膜。
小さな網膜に、細管(光ファイバー)で光を導く。
- 薄く大きな網膜

透明人間

- 人間の透明部
角膜
角膜と強膜(結膜、白目)
コラーゲン線維($n=1.55$)
と基質($n=354$)の多層構造
(数百層)

角膜と強膜の多層構造



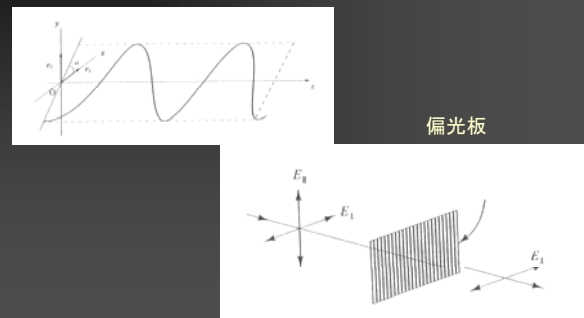
透明生物を見る

- 透明な生物の捕食者
透明になるカモフラージュに対抗する手段
- どのようにして透明な生物を
発見するか？
- 偏光の利用

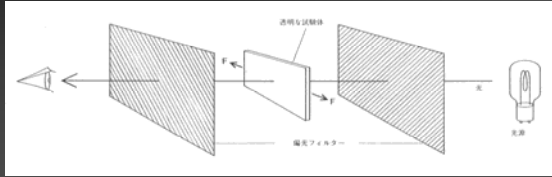
捕食者の秘密兵器(偏光)



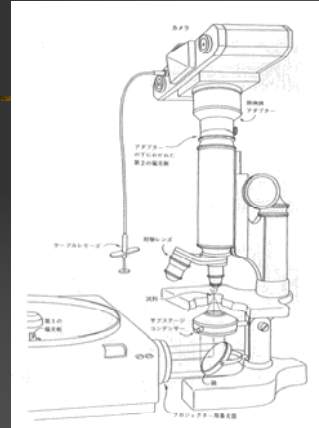
偏光とは？



偏光を見る(1)

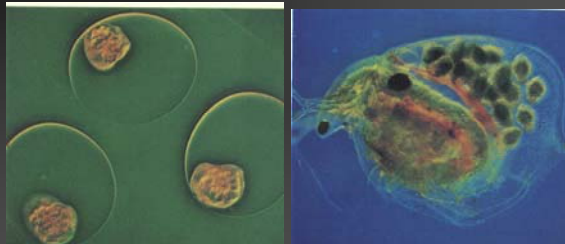


偏光を見る(2)



偏光顕微鏡

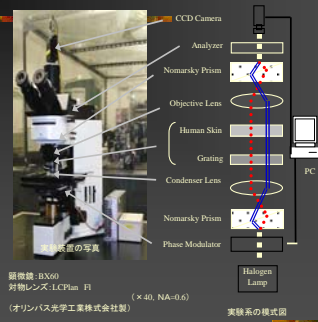
偏光で見る



カタツムリの胚

ミジンコ(Simocephalus)

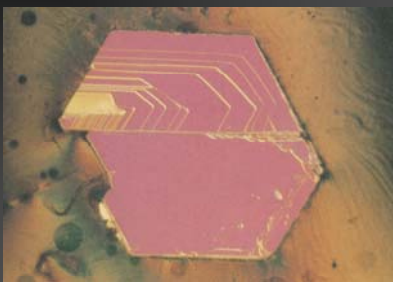
微分干渉顕微鏡(1)



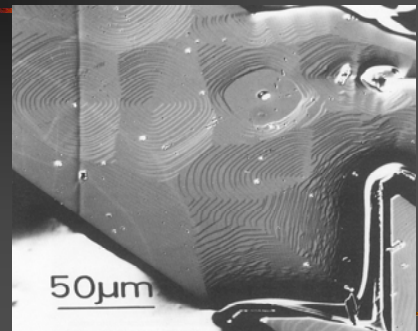
顕微鏡: BX60
対物レンズ: LCPlan FI
(ナリンバス光学工業株式会社製)

実験系の模式図

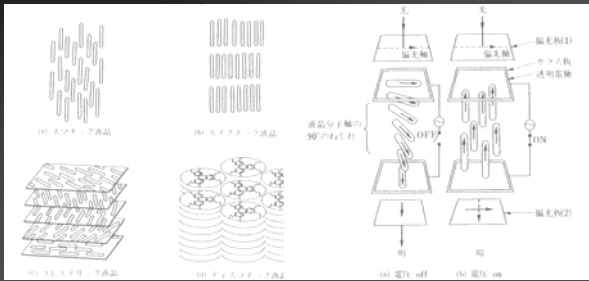
微分干渉顕微鏡(2)



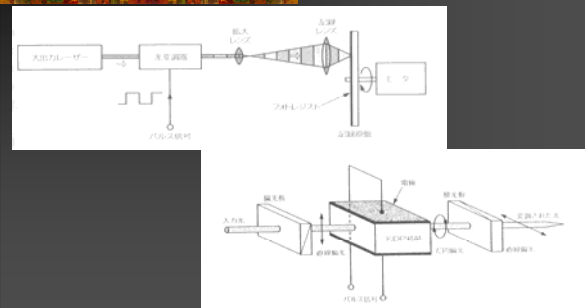
微分干渉顕微鏡(3)



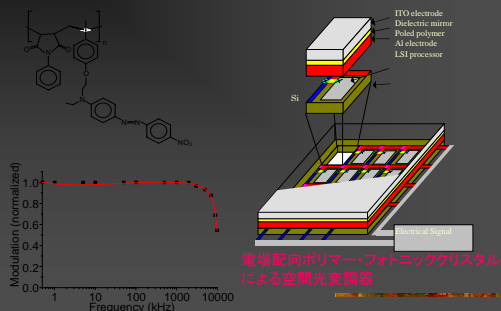
液晶



超高速の光変調器(1)



超高速の光変調器(2)



光学と生物 (まとめ)

- 生物は巧妙な光学技術を利用して生きている。
- 生物の利用している光学原理の探求
- 生物の光学技術の利用
Bio-mimetic optics

参考文献

- 柴田和雄ほか編: 光生物学(上、下)学会出版センター(1979).
- 木村滋: 昆虫に学ぶ, 工業調査会(1996).
- 伊藤勝敏: 図説魚たちの世界へ, 河出書房新社(1999).
- 河合清三: いくつもの眼, 講談社サイエンティフィック(1984).
- 畑田豊彦: 生理光学, 光工学ハンドブック(小瀬ほか編) 朝倉書店, pp. 129-157(1986).
- M.F. ランド: 反射鏡をもつホタテ貝の眼, サイエンス, 1979年2月号, pp. 66-75.
- H.F. ナイハトウ: チョウの斑紋はどのように形成されるか, サイエンス, 1982年1月号, pp. 60-71.
- S. ジョンセン: 海の透明な生き物たち, 日経サイエンス, 2000年5月号, pp. 86-96.
- S. Johnsen and E. A. Widder: "The physical basis of transparency in biological tissue, J. Theor. Biol., 199, 2, 181-198(1999).
- 和田盛和編: サイエンスイラストレイテッド9, 光と色, 別冊サイエンス, 日本経済社(1980).