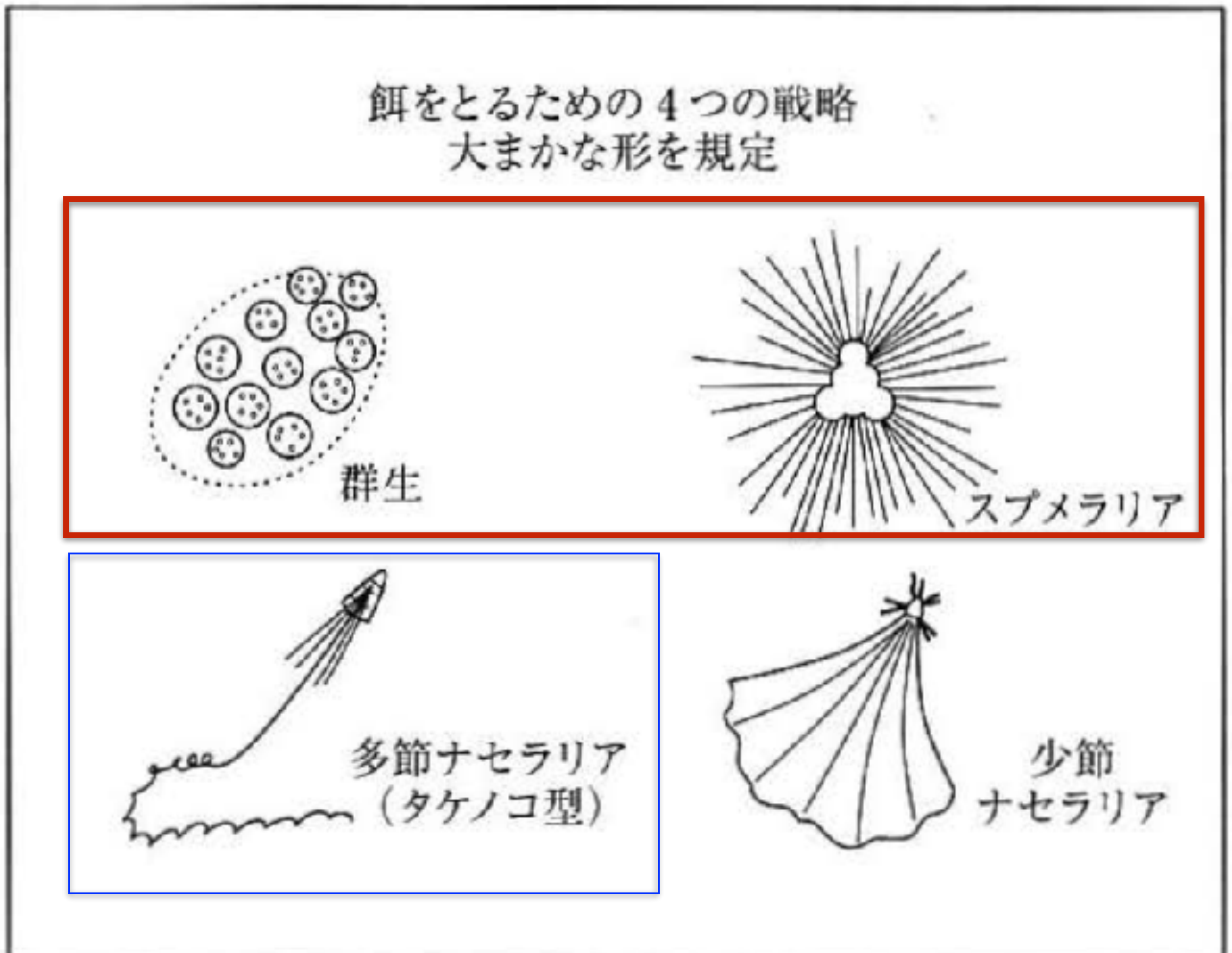
捕食方法の違いから放散虫の骨格構造の多様性を理解する試み

吉野　隆（東洋大学理工学部）
松岡　篤（新潟大学理学部）
栗原敏之（新潟大学自然科学研究科）
椎野勇太（新潟大学自然科学研究科）

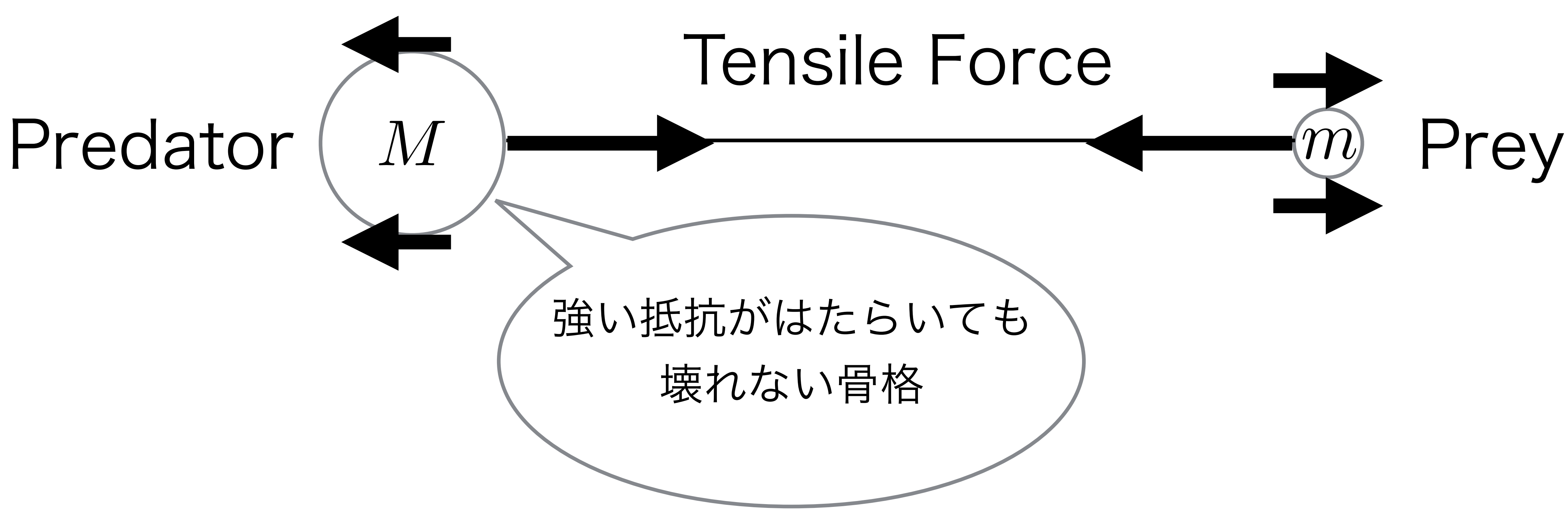
放散虫の捕食方法



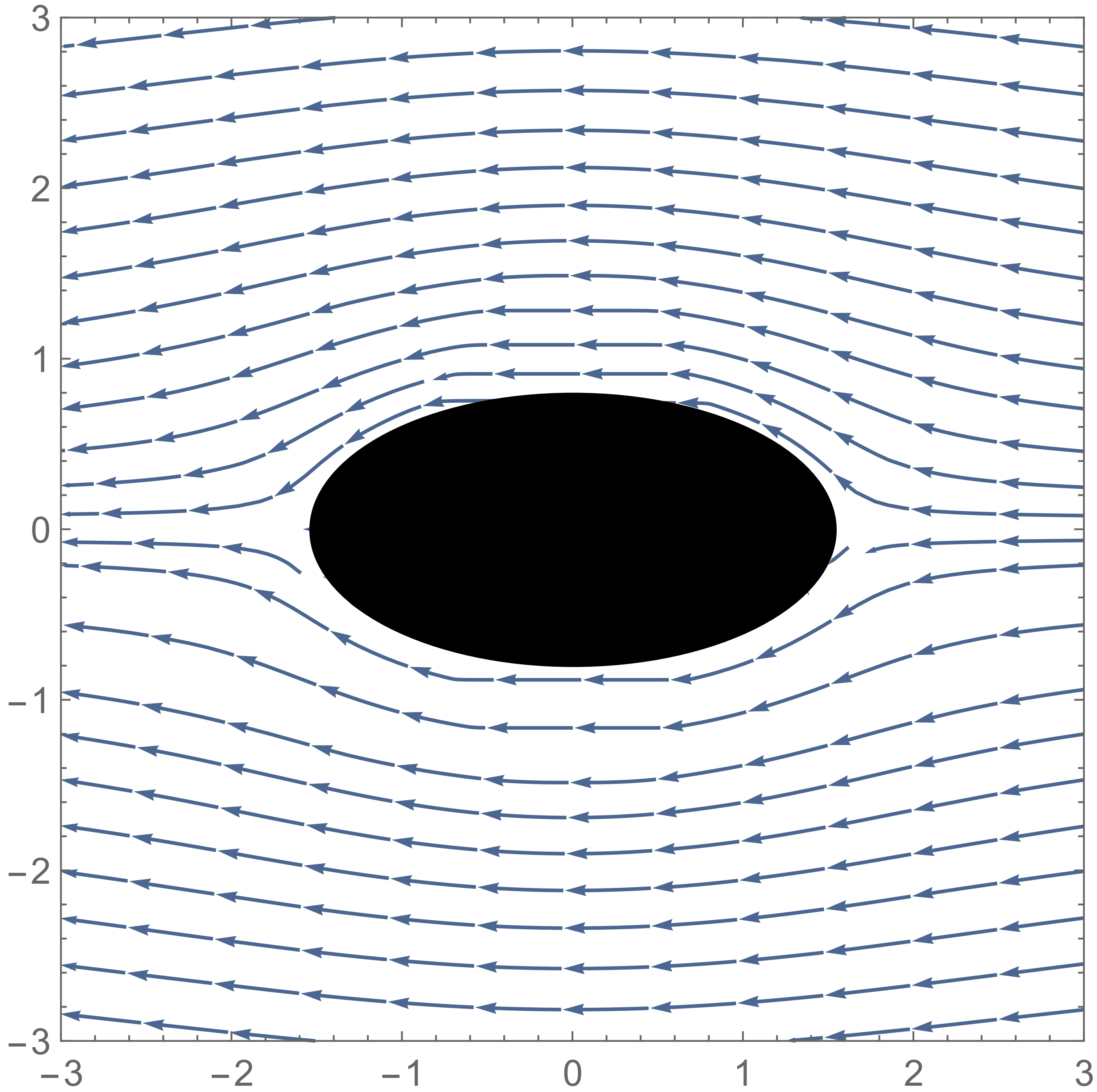
松岡（2006）

捕食行動の力学
Dynamics of Predation

- 多節ナセラリア属の捕食行動を単純化したものとして，図に示したようなシステムを考える.
- 餌を捕まえた放散虫に餌を引くための張力と逆向きの力を受ける.

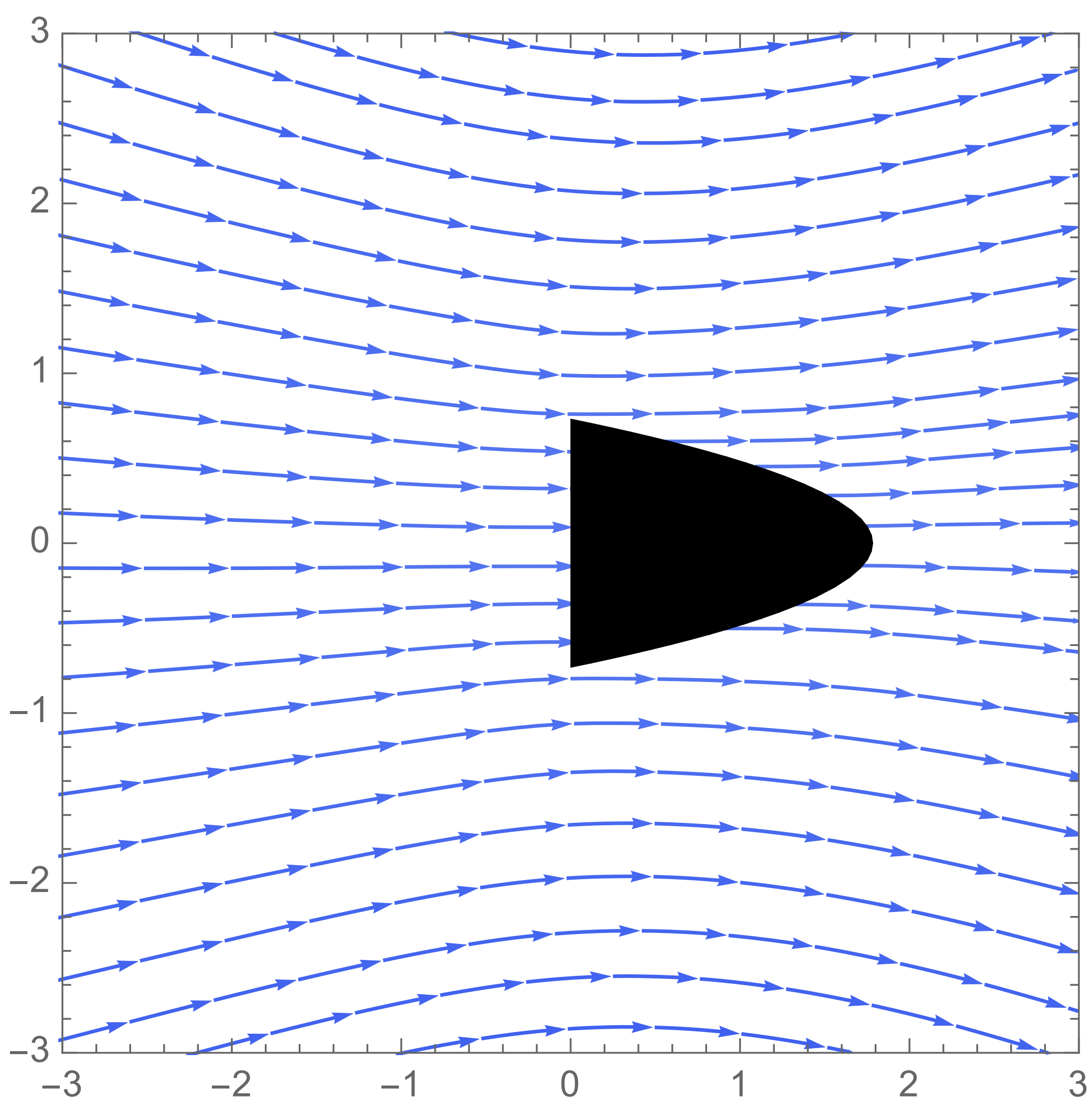


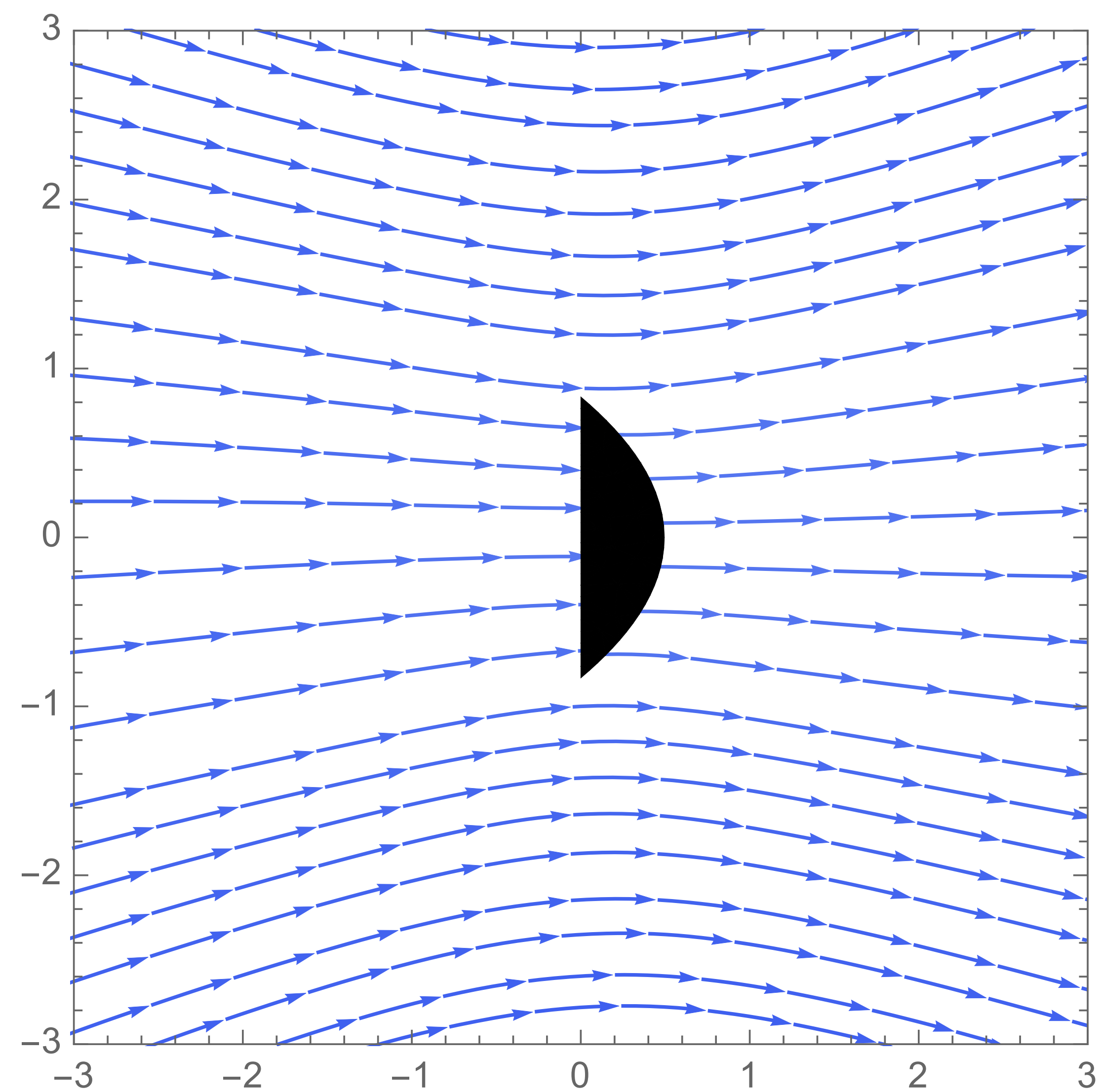
最適解
（アスペクト比1.96 ）



その後の展開

- 回転放物面形状の周りの流れを検討中だが，まだ納得がいく結果が出ていない．





今回のテーマ

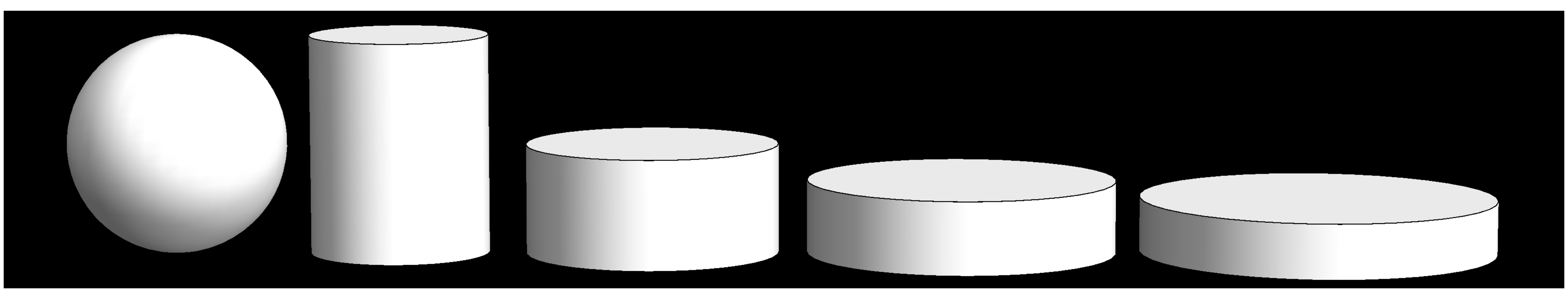
- 共生藻が存在する放散虫の場合の最適形状について検討する.
- 光合成の助けを借りる場合（というよりも，光合成の効果を最大にする試みを行った場合），どのような形状が最適なのかを考える.
- 捕食の効果がゼロな場合を想定していることに注意.
- 球形と短柱形を比較して，その効率を考える.

形状について

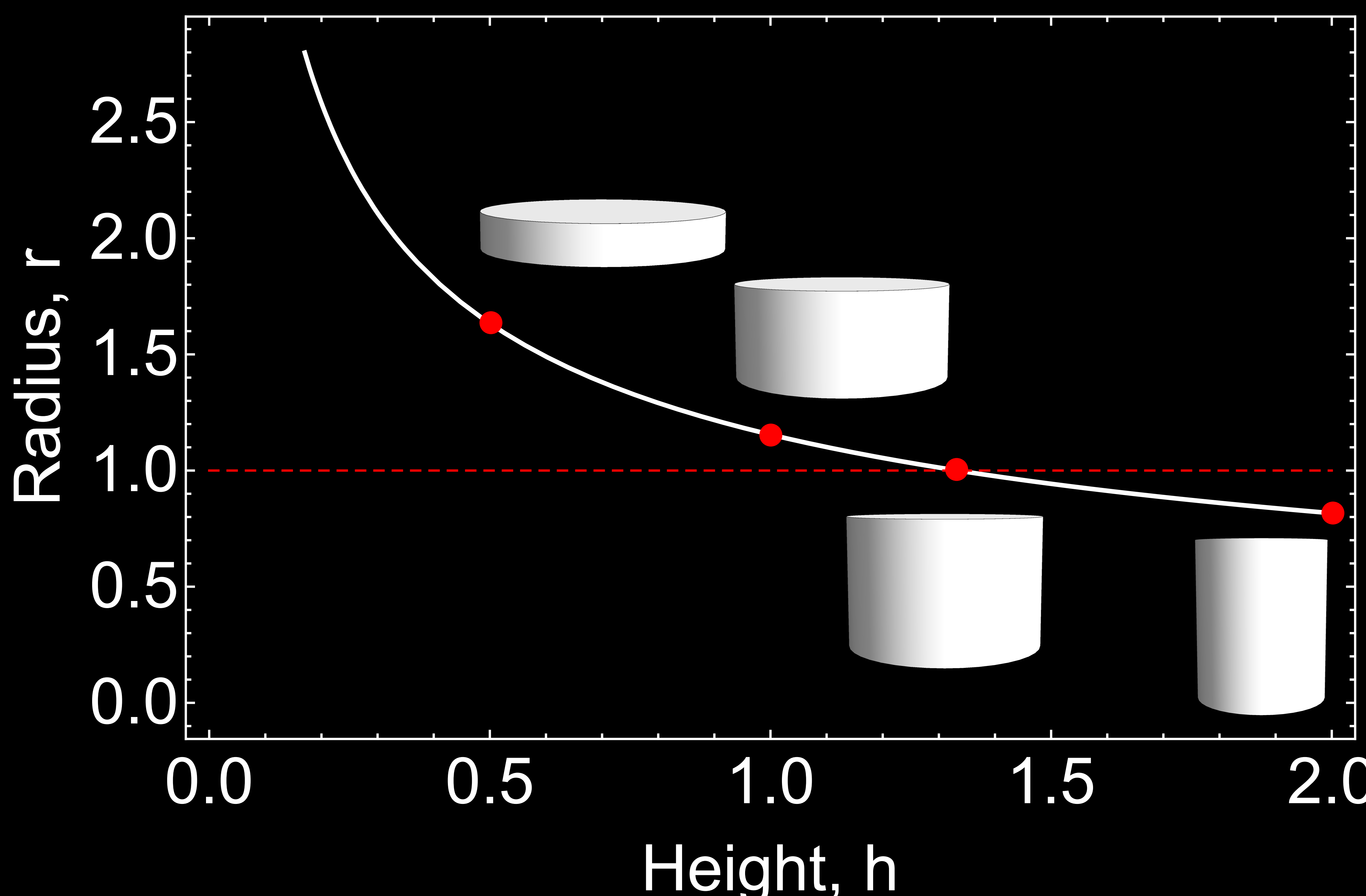
- 体積が同一な球と円柱を考える.
- 球は単位円とする.
- 円柱は半径を r，高さを h とおく．体積が固定されているので，一方が決まると他方が決まる.
- 今回は円以外の断面形状については考えない．今回の計算ではそれほど大きな影響がないため.

単位球と同体積の円柱

- 左から順に，単位球，高さ 2, 1, 2/3, 1/2の円柱
- ある高さからは平たいほうがたくさんの光を浴びることができそう.



同一体積の円柱における高さと半径の関係



アスペクト比の導入

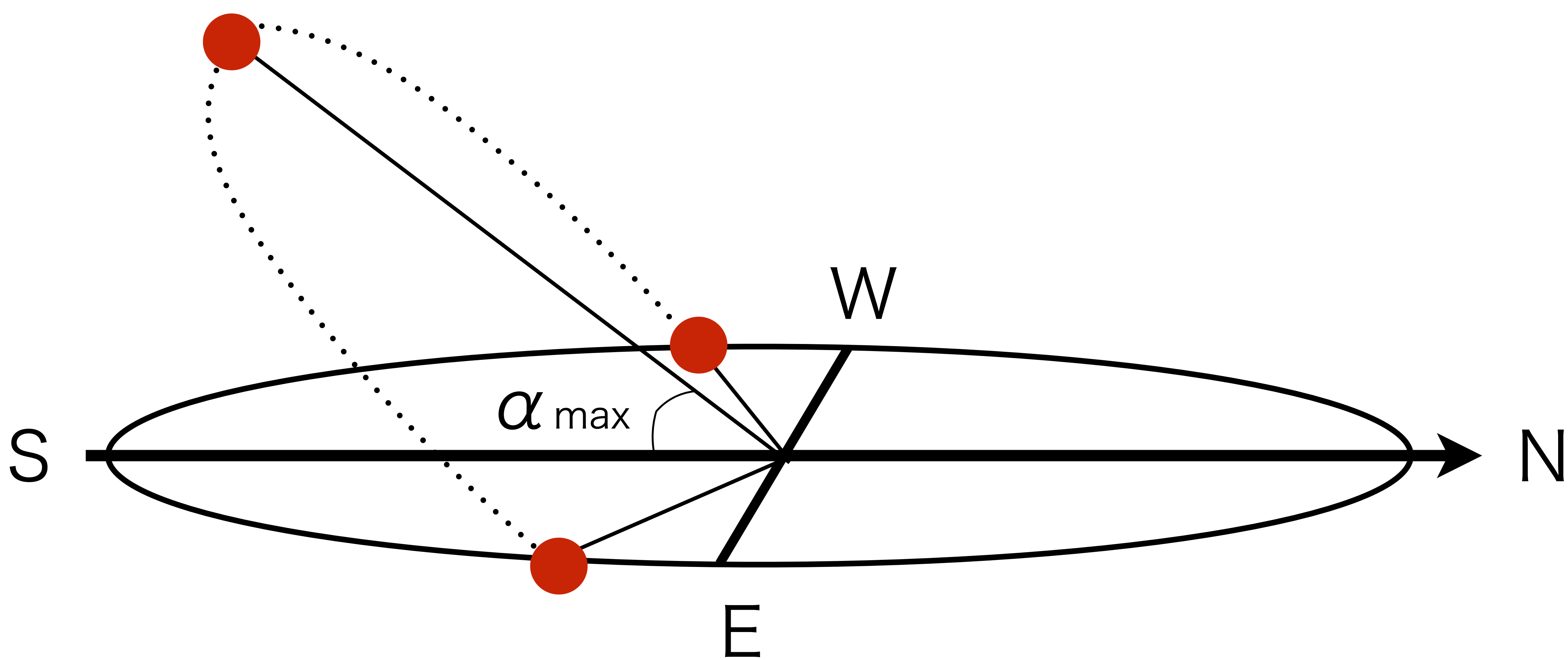
- 円柱の高さに対する円柱断面の直径の比をアスペクト比と定義する.
- アスペクト比が1のとき，側面が正方形に見える.
- ここでは横に広い形状のみに注目するので，アスペクト比1以下の場合の考える.

光合成に関する条件

- 仰角を α とおく．$\alpha=0$ は日の出，最大仰角 α_{max}（春分・秋分のときの($\pi/2-$緯度)に相当）を経て，$\alpha=0$ 日没になる．
- 光の強度は常に一定とする（実際には光が通過する大気や海水の距離が異なるので一定にはならない）
- 共生藻は放散虫の表面に一様に分布しているものとし，栄養の生成量は一定とする（表面に濃淡がないとする）

日照のイメージ

- 仰角 α の時間変化はきちんと考えなければいけないが，今回は正弦関数（sine）で近似する.
- 最大仰角は緯度と地軸の傾きの和で決まる.



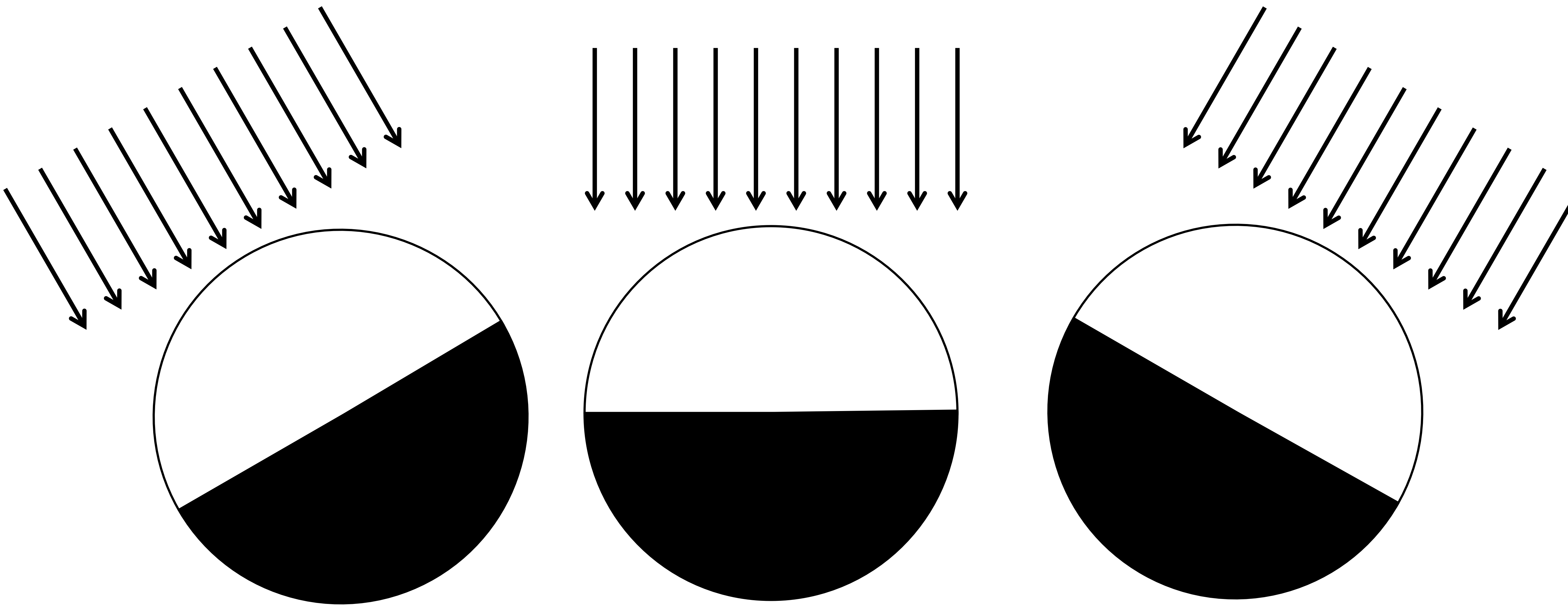
生成量 P の計算

$$P = p\int_{t_s}^{t_e}\left(\int_S\left(\vec{\rho}(t)\cdot\vec{n}\right)dS\right)dt$$

- 被積分関数は単位時間・単位面積あたりの光量
- p ：単位時間単位面積あたりの生成量（単位生成レート？）
- dS ：表面の微小領域
- n ：微小領域の法線ベクトル
- rho ：光の強さと向きを表すベクトル（仰角と時間の関数）
- ts, te ：日の出時刻と日没時刻（規格化して 0 と 1 としたい）

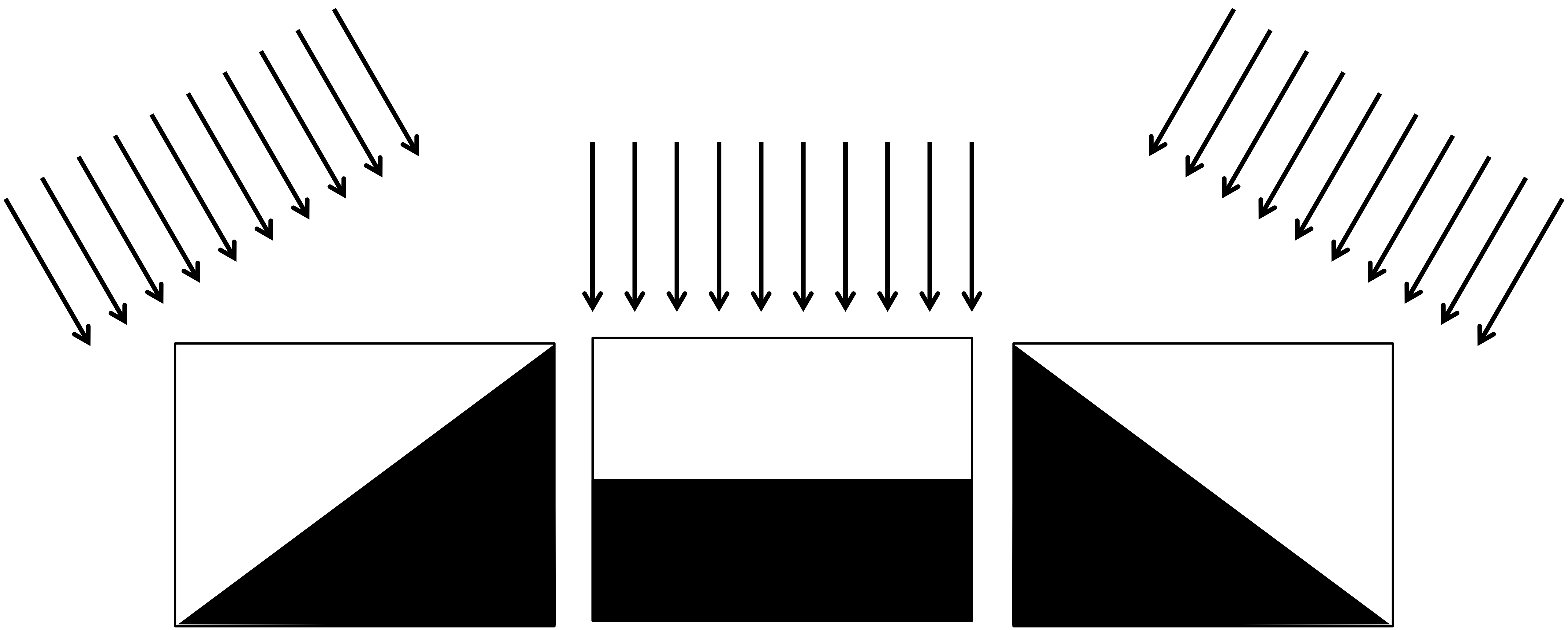
球形が受ける光量

- 球形がうける単位時間あたりの光量は仰角に依存しない（実は断面積に比例する量）.



円柱が受ける光量

- 球形がうける単位時間あたりの光量は仰角に依存する.

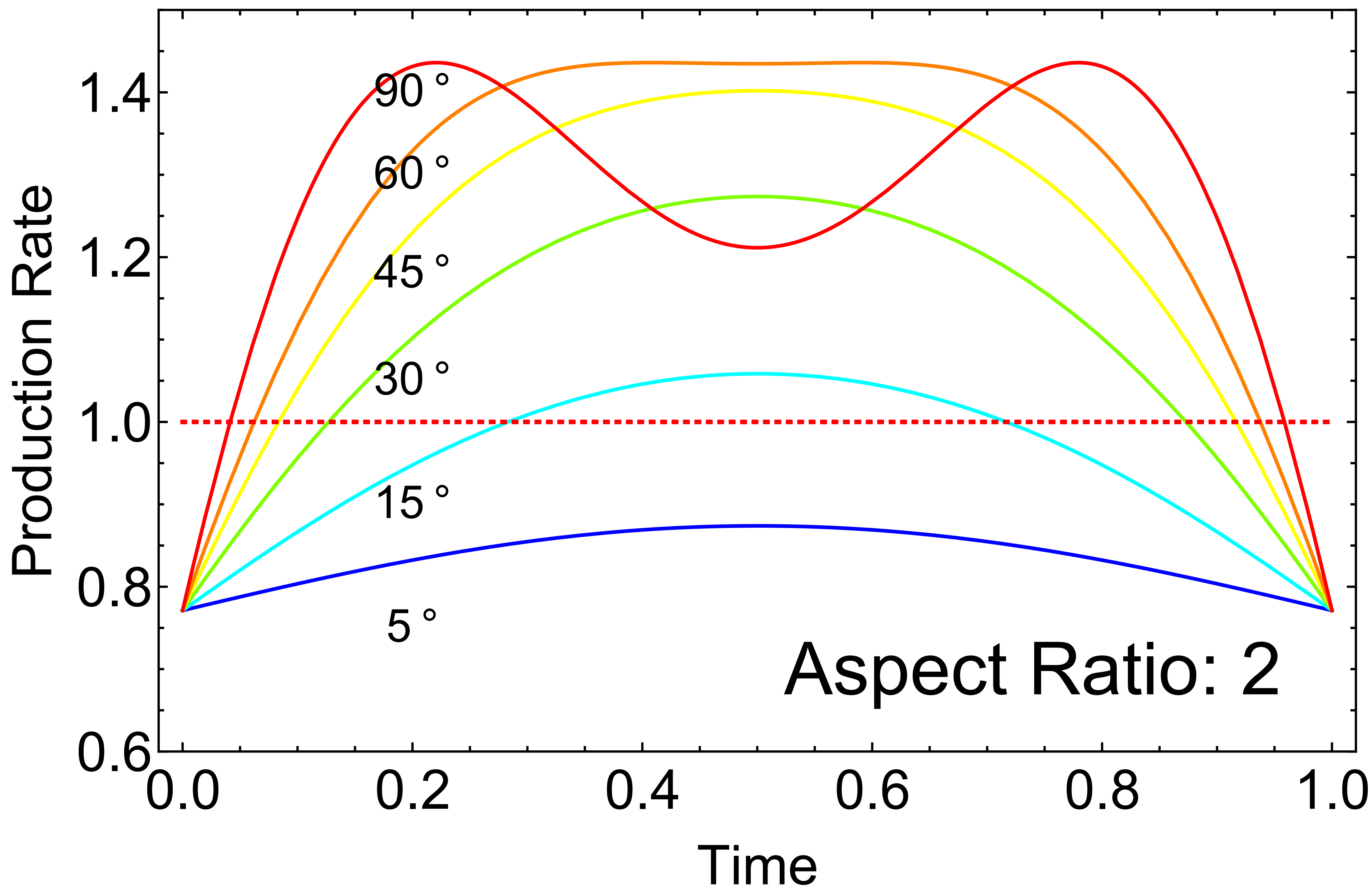


球が受ける光量の計算

- 日の出から日没までの光量を一定と仮定しているので，断面積と受光時間の積で計算できる.
- 多くの単位が１になるような単位系を選べば球が受ける光量は π となる.
- 以下では球が受ける光量や球の表面で生成されるエネルギーが1になるように規格化された結果を示す.
- つまり，1より小さいことは球よりも非効率であることを意味する.

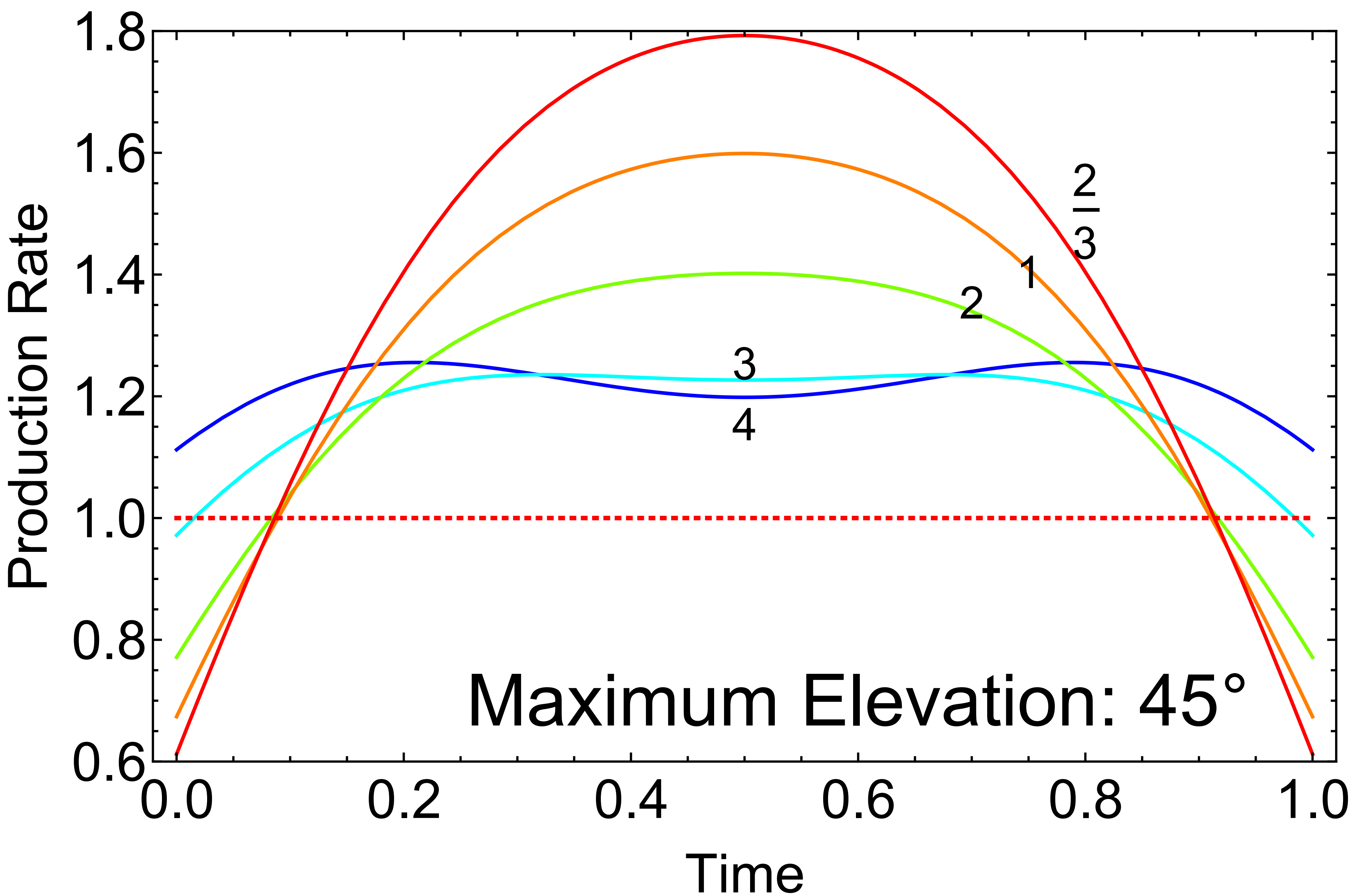
最大仰角による
生成速度の違い

- 生成速度の時間変化．積分すると１日あたりの生成量．

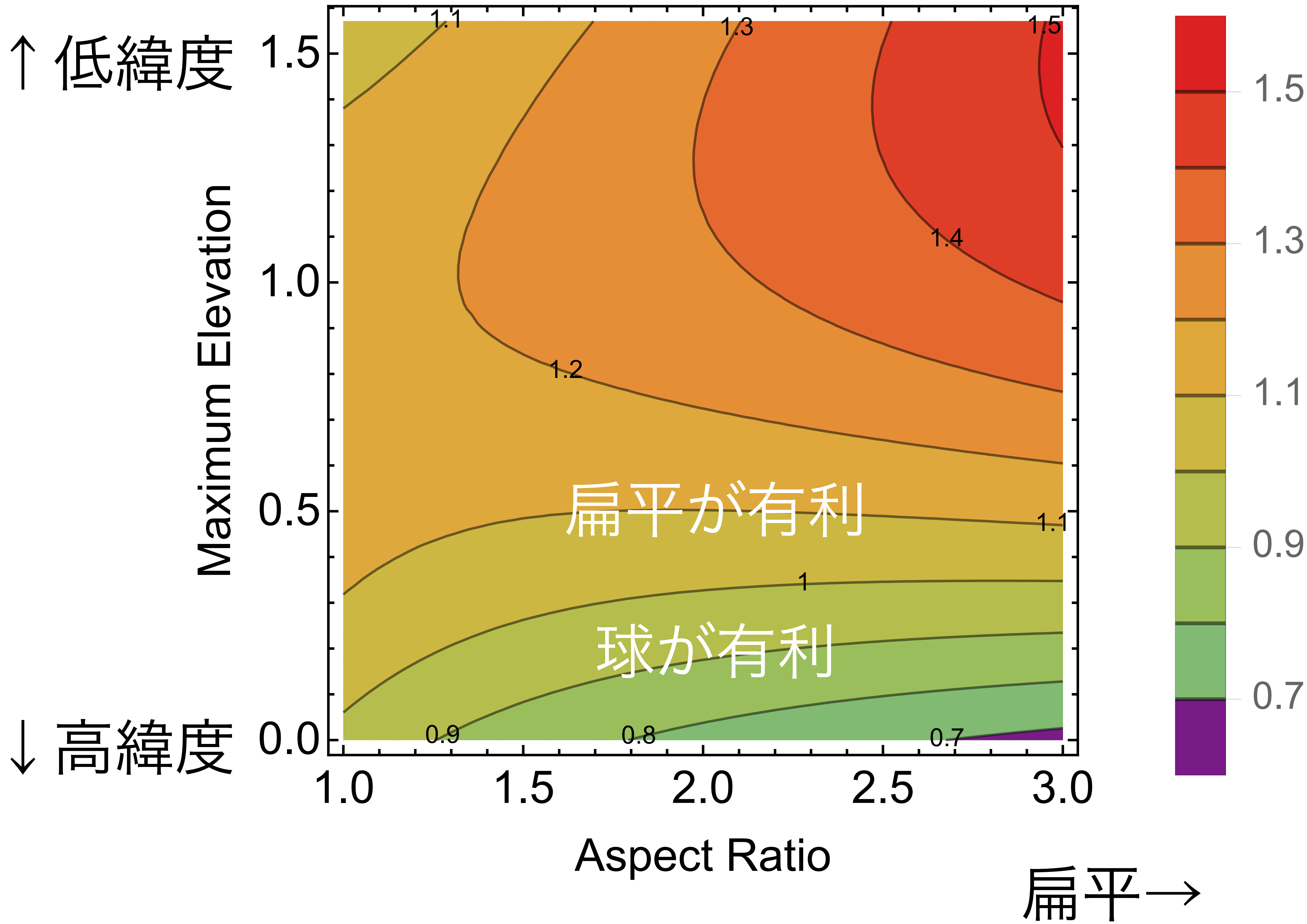


アスペクト比による生成速度の違い

- 中緯度の場合，柱状形状のほうが有利である.



生成量をアスペクト比と最大仰角の関数とみなす



断面積が円ではないとき

- 断面積が円ではないと，時間による変動が増える.（単一なピークではなく複数のピークが現れる）
- リスクは高くなるが，良い方向にあたれば積分値は大きくなる可能性がある.
- 基本的に凹む部分は損なので，ベンツや十字がある理由を説明することはできない.

議論

- 最大仰角が大きい時は短柱状が有利になる.
- 最大仰角が大きくなるのは低緯度や夏.
- 予想１：低緯度ほど短柱形状の種が多くなるのではないか？その境界は緯度で70°程度（最大仰角20°程度）.
- 予想２：同一地点で観測したとき，夏ほど短柱形状の種が多くなるのではないか？

まとめ

- 同一体積，単位面積あたりのエネルギー生成量は光量に比例という条件のもとで，球と円柱が生成するエネルギー（受け取る光量）の比較を行った.

- 一般に最大仰角が小さいときは球状が有利であり，最大仰角が大きい時は短柱状が有利である.