空間を考慮したスペースコロニー内の人工生態系のシミュレーション

宮嶋宏行　東京女学館大学

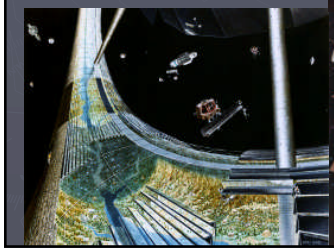
2010年9月11日　宇宙農業サロン

アウトライン

- 代表的なスペースコロニー
- 開放型シリンダー
- スペースコロニーの研究分野
  （そのうち内部環境の解析と設計）
- CAを用いた内部環境のモデル化
- CO_2濃度分布の計算例
- まとめ

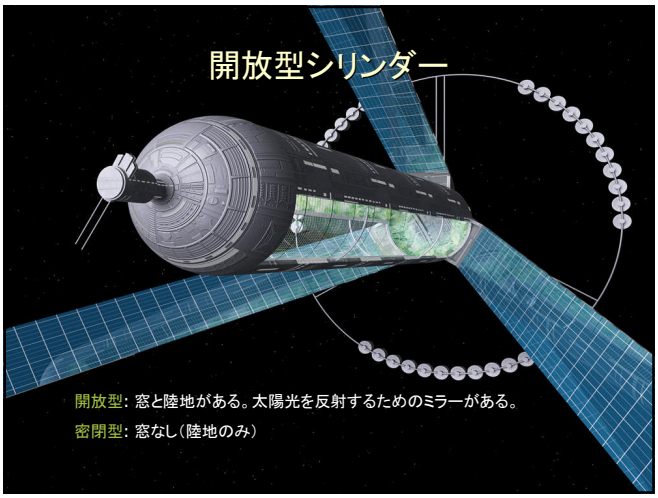
代表的なスペースコロニー

- シリンダー型
- ベルナール球
- スタンフォード・トーラス



GERARD K. O'NEILL, THE HIGH FRONTER

開放型シリンダー



開放型: 窓と陸地がある。太陽光を反射するためのミラーがある。

密閉型: 窓なし（陸地のみ）

スペースコロニーの研究分野

- 建設場所
- 姿勢制御
- 構造解析
- 輸送
- エネルギー
- 放射線
- 内部環境（大気、温度、重力など）の解析と設計
- 食料生産
- 都市計画
- 生活

開放型シリンダーの諸元

長さ: 30km

直径: 6km

回転: 0.55 rpm (1g)

場所：L4, L5

陸地：282.6km^2（海、川なし）

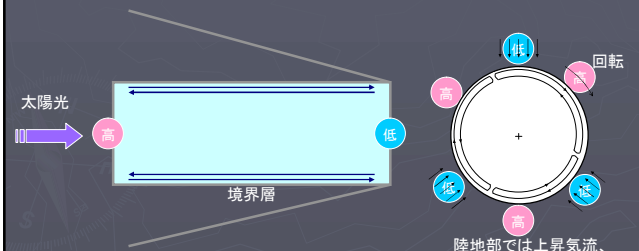
GERARD K. O'NEILL, THE HIGH FRONTER

大気循環と窓風

Takuya Matsuda, “Meteorology in a Space Colony”

回転流体力学を利用して、スペースコロニー内の気圧、温度、風を解析

窓風について言及

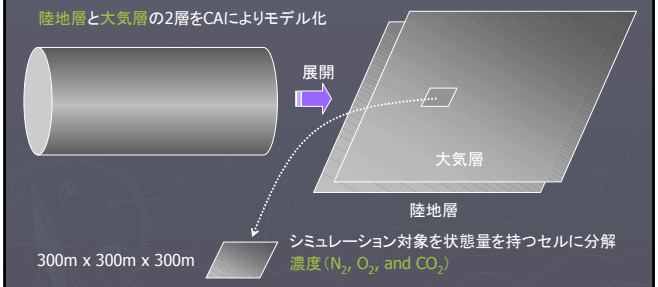


陸地部では上昇気流、
窓部では下降気流

セルオートマトン (CA)によるモデル化

1997年ナホトカ号の重油流出事故における重油拡散の解析で実績

陸地層と大気層の2層をCAによりモデル化



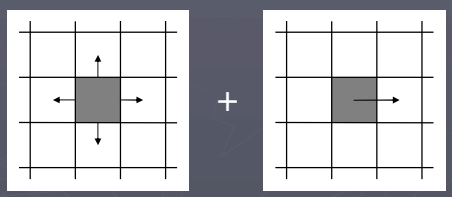
シミュレーション対象を状態量を持つセルに分解

濃度（N_2, O_2, and CO_2）

ローカルルール: 空間に関する偏微分方程式

状態遷移ルール: 時間に関する偏微分方程式

拡散と移流のモデル化



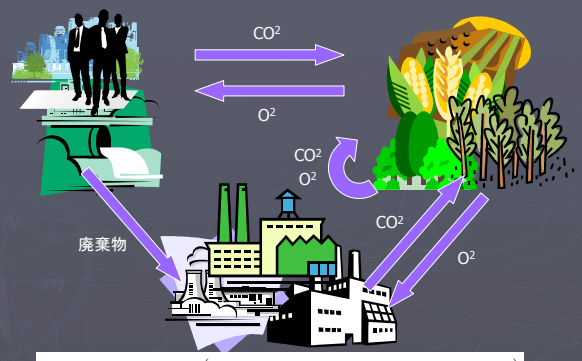
拡散　　移流

移流拡散方程式

$$\frac{\partial(ppCO_2)}{\partial t} = D\left(\frac{\partial(ppCO_2)}{\partial x} + \frac{\partial(ppCO_2)}{\partial y}\right) + v_x\frac{\partial(ppCO_2)}{\partial x} + v_y\frac{\partial(ppCO_2)}{\partial y}$$

拡散項　　移流項

人工生態系の物質循環



昼 $mCO2(t+1) = mCO2(t) + (-CO2_PHO \cdot biomass + CO2_POP \cdot population)$

夜 $mCO2(t+1) = mCO2(t) + (CO2_DAR \cdot biomass + CO2_POP \cdot population)$

計算条件

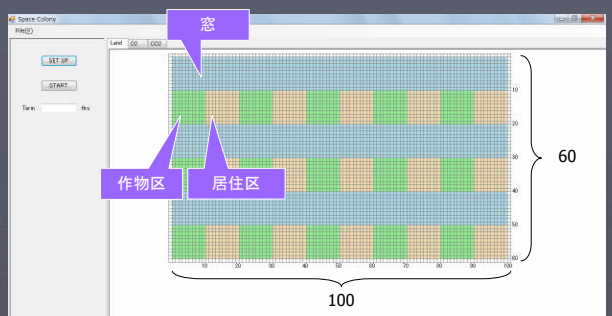
- 人口: 7,000,000
- 環境
  - O_2濃度: 20.97%
  - CO_2濃度: 0.03%
- 作物: 約30種類 (稲, 大豆, レタスなど)シーケンシャル栽培・・・一人当たり40m^2
- ミラーの角度変更スケジュール (θ:ミラーの角度)
  - 5:00 - 7:00　　0から45度 (夜明け)
  - 7:00 - 17:00　　45度 (昼)
  - 17:00 - 19:00　　45から0度 (夕暮れ)
  - 19:00 - 5:00　　0度(夜)
- 工場からのCO_2 排出
  - 7:00から17:00まで 位置1 (1, 25)で排出
- 拡散速度
  - CO_2 100m^2/s
- 移流
  - X軸: 0.17 m/s (一定)
  - Y軸: 0 m/s (min) から 17 m/s (max), 17 sin(2θ)とモデル化

作物栽培

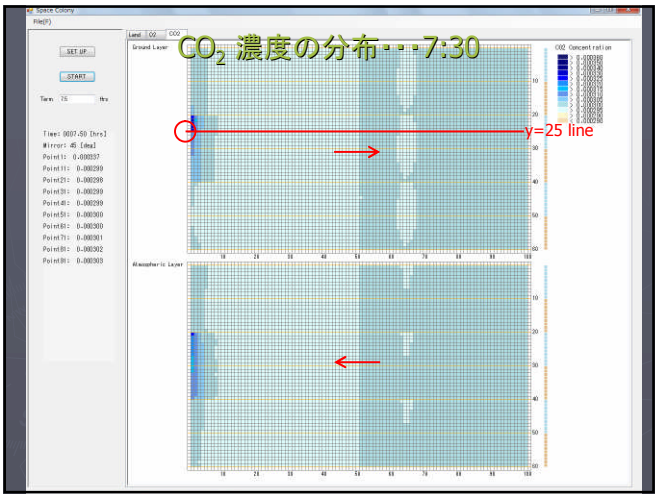
作物	栽培面積	可食部	栽培日数	収穫指数
	[m²]	[g/day]	[day]	[-]
イネ	30.00	420.04	120	0.394
ダイズ	30.00	183.69	80	0.434
オオバ	1.00	1.06	100	0.09
キュウリ	2.00	10.43	80	0.33
トマト	2.00	11.55	100	0.22
コマツナ	0.30	0.80	80	0.95
ホウレンソウ	0.50	0.91	40	0.56
葉ネギ	0.50	3.38	40	0.91
レタス	0.50	0.79	100	0.91
ハクサイ	1.50	2.69	120	0.47
キャベツ	1.50	2.28	91	0.36
ダイコン	1.50	3.69	49.8	0.44
カブ	1.50	1.82	49.8	0.61
ニンジン	1.50	3.16	81.7	0.48
エンドウ	1.50	11.59	75.3	0.4
インゲン	1.50	2.87	71.3	0.35
ナス	2.00	15.37	121.4	0.37
ピーマン	2.00	4.52	114.3	0.25
カボチャ	2.00	49.11	108.3	0.54
タマネギ	2.00	0.22	127	0.08
サトイモ	1.00	1.28	125	0.35
サツマイモ	1.00	1.98	120	0.3
ニラ	0.60	5.11	113	0.58
シュンギク	0.60	1.48	39	0.9
ミツバ	0.50	1.47	40.3	0.88
イチゴ	1.00	1.00	60	0.5
サトウダイコン	2.00	4.51	127	0.58
ナノハナ	1.00	0.79	152	0.11
ヒマワリ	1.00	0.10	120	0.03

94m^2/人を
40m^2/人以下に

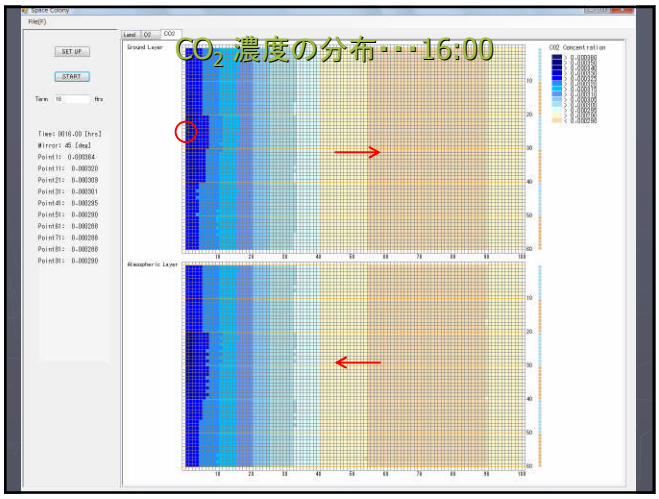
スペースコロニーの区画



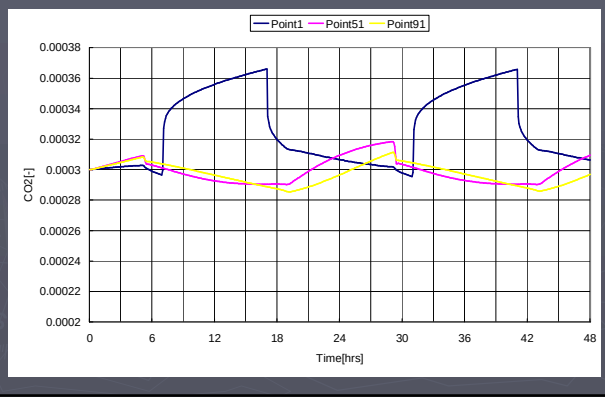
CO_2 濃度の分布・・・7:30



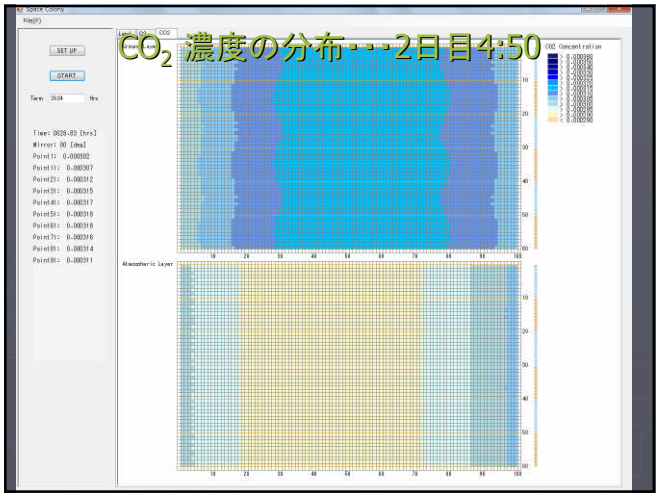
CO_2 濃度の分布・・・16:00



特定の3地点のCO_2 濃度の変化(48時間)

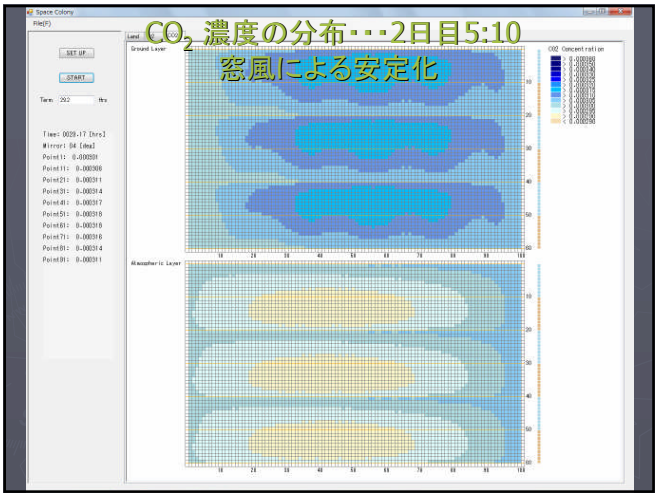


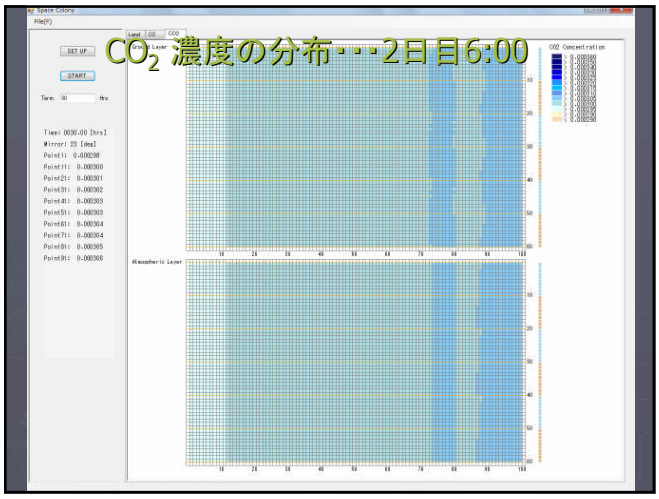
CO_2 濃度の分布・・・2日目4:50



CO_2 濃度の分布・・・2日目5:10

窓風による安定化





まとめ

- セルオートマトン(CA)による内部環境のモデル化
  - 移流拡散方程式をもとに拡散、大気循環、窓風のローカルルール（セル間の関係）を記述した。
  - 各セルに植物、人間、工場モデルを配置してCO_2濃度分布の変化を計算した。
  - 支配方程式を直接解くことでは難しい、不連続な変化や複雑な境界条件を考慮したシミュレーションが可能になる。
- CO_2 濃度分布の変化
  - 拡散や大気循環だけでは短時間で解消できないCO_2濃度分布の不均衡を窓風により解消できる可能性があることがわかった。