

氏名(本籍)	もり おか り き 森岡理紀(東京都)
学位の種類	博士(農学)
学位記番号	博甲第2259号
学位授与年月日	平成12年3月24日
学位授与の要件	学位規則第4条第1項該当
審査研究科	農学研究科
学位論文題目	藻類バイオリアクタを含む閉鎖生態系生命維持システムの評価
主査	筑波大学教授 農学博士 前川孝昭
副査	筑波大学教授 農学博士 安部征雄
副査	筑波大学教授 工学博士 田中秀夫
副査	筑波大学助教授 農学博士 杉浦則夫

論文の内容の要旨

近年の人間活動の拡大に伴い、宇宙空間などにおいて、物質の出入りの無い閉鎖された空間の中で人工的な生態系を作りだし、植物など生物を用いて廃棄物の処理/有用物質としての再生を行わせる事で超長期の生命維持を可能とする CELSS (閉鎖生態系生命維持システム; Closed Ecological Life Support Systems) 技術が注目されている。

この CELSS に関する研究には機械工学的 (使用する機械や材料など) 研究, 生物学的 (使用する生物種の選定や生理学的分析など) 研究など非常に多岐にわたる分野があり, 現在はそれぞれ研究が進められているが, 分けなくてもそのシステム全体の挙動を把握するためのモデル化手法の開発が望まれている。

既往の研究を踏まえ, 本研究では CELSS の挙動に関する生態学的な知見を得る事を目的とした。そのため, 4 つの区画 (気相, 水相, 藻類 *Spirulina platensis*, 魚類 *Grinochilus aymonieri*) を持ち, 藻類を用いて魚類の排出する CO₂・排泄物を O₂・食糧として再生する事で魚類の生命維持を図る概念的なモデル CELSS を構築し, 研究室レベルの実験とシミュレーションを行い, システムの推移と物質移動を観察した。

はじめに, 小 CELSS について作成した生態学的モデルに, 淡水性草食魚 *G.aymonieri* について新たに測定を行って得たパラメータ値などのデータを加え, CELSS における魚の体重変化, 魚による摂食に伴う藻類の濃度変化, 排泄に伴う基質の濃度変化などの過程をシミュレートした。魚類パラメータ測定実験のデータからは, 魚によるアンモニア排泄が摂食能力の低下に反比例して増加する現象が観察され, これをモデルに組み込むために, 魚体重に関連して排泄速度を補正する関数を導入した。このモデルによる予測と実験結果の間の偏りは, 体積あたりの魚体重の減少については, 2 つの実験それぞれで 7.0% と 5.2%, 基質の蓄積については実験 1 で 10.7%, 実験 2 では 6.1% であり, モデルにおいて考慮されていない要因によるものと思われた。一定の環境状態のもとでは, 構築された CELSS の動向を決定する上で初期の基質濃度, 藻濃度, 魚体重量の比率が重要なパラメータであることがわかった。

ついで, CELSS の発展 (遷移) 状態について考察するため, 熱力学的概念を生態学に導入したものであり, 主に湖沼学において形の発展状態の指標として使われるエクセルギについて, 一般の湖沼のような条件とは違い物質の出入りを完全に断った CELSS の評価への導入を図った。実験値から計算したエクセルギは, 魚-藻-基質の量の変化に関連しており, CELSS の発展状態においても適切な尺度とみなす事ができた。また, CELSS 全体が安定

に至るまでの時間や経過過程を把握するため、はじめに構築したモデルよりもパラメータが少なく簡便な Lotka-Volterra モデルに CELSS の特性を考慮して加えた式を含む改良型 Lotka-Volterra モデルを作成した。これによるシミュレーションでは、CELSS 全体のバイオマス量の動向が正しく示され、魚あるいは藻がいったんの減少を経て増加し安定に至るものと、逆にいったんの増加を経て減少し安定に至る 2 種の経路を確認した。各バイオマス量間の比率が一定となるその安定状態に至るまでの時間は、実験 1, 2 についてそれぞれ 180 時間、495 時間と算出された。

最後に構築した小 CELSS を、具体的には人間を含むようなより大きな CELSS の下部システムである魚養殖装置として応用する場合についての補足実験と考察を行った。実験とシミュレーションによる計算から、給餌時の各藻濃度において、魚の体重を維持できる時間的閾値を得た。このことから、順調な魚体重の維持もしくは増加に至らしめるための給餌パターンを設定する事ができると考えられた。さらにモデル中では考慮されていなかったが、魚の生育に影響を与え、シミュレーション誤差の原因となったと思われる物理化学的要因について考察を行った。結果、本研究における実験の設定条件では、水温の高さと pH の高さによって、基質として槽内に蓄積されたアンモニアの内、遊離アンモニアの濃度が高くなっていることが大きな要因であると考えられた。

審査の結果の要旨

本論文は CELSS の挙動に関する生態学的な知見を得る事を目的としている。そのため、4 つの区画（気相、水相、藻類 *Spirulina platensis*, 魚類 *Grinocheilus aymonieri*）を持ち、藻類を用いて魚類の排出する CO_2 ・排泄物を O_2 ・食糧として再生する事で魚類の生命維持を図る概念的なモデル CELSS を構築し、実験室レベルの実験とシミュレーションを行い、システムの推移と物質移動を観察した。

はじめに CELSS における魚の体重変化、魚による摂食に伴う藻類の濃度変化、排泄に伴う基質の濃度変化などの過程をシミュレートした。

CELSS の発展（遷移）状態について、系の発展状態の指標として使われるエクセルギについて、一般の湖沼のような条件とは違い物質の出入りを完全に断った CELSS の評価への導入を図った。実験値から計算したエクセルギは、魚・藻・基質の量の変化に関連しており、CELSS の発展状態においても適切な尺度とみなす事ができた。CELSS 全体のバイオマス量の動向が正しく示され、魚あるいは藻がいったんの減少を経て増加し安定に至るものと、逆にいったんの増加を経て減少し安定に至る 2 種の経路を確認した。

最後に、具体的には人間を含むようなより大きな CELSS の下部システムである魚養殖装置として応用する場合についての補足実験と考察を行った。その結果、本研究における実験の設定条件では、水温の高さと pH の高さによって、基質として槽内に蓄積されたアンモニアの内、遊離アンモニアの濃度が高くなっていることが大きな要因であると考えられた。

以上の成果は湖沼生態学や宇宙環境工学などの閉鎖系システムの検討に有益であり、環境工学や農業工学分野への寄与は極めて大きく、今後の実用化への貢献が大いに期待できる。

よって、著者は博士（農学）の学位を受けるに十分な資格を有するものと認める。