

霞ヶ浦および周辺域の生態系動態に 及ぼす人間活動の影響

吉 田 富 男

研究代表者	教授	佐 伯 敏 郎	東京大学理学部
研究分担者	助手	広 瀬 忠 樹	同上
同上	教授	岩 城 英 夫	筑波大学生物系
同上	助教授	及 川 武 久	同上
同上	教授	吉 田 富 男	筑波大学応生系
同上	助教授	永 塚 鎮 男	同上
同上	室 長	戸 塚 績	国立公害研
同上	教 諭	高 田 和 男	取手一高
同上	教授	市 村 俊 英	筑波大学生物系
同上	助教授	高 橋 正 征	同上
同上	助教授	関 文 威	同上
同上	室 長	大 槻 晃	国立公害研
同上	室 長	安 野 正 之	同上
同上	講 師	菊 池 稔 史	茨城大学理学部
同上	部 長	浜 田 篤 信	内水面試験場

はじめに

本プロジェクトは文部省環境科学特別研究(1)の一つとして、東京大学理学部佐伯敏郎教授を代表者として昭和53年より行われてきたものである。プロジェクトの構成メンバーは筑波大学や国立公害研究所からの研究者が過半数を占めている。全体の構成メンバーは上記の如くである。

1. 研究目的

霞ヶ浦および周辺域の生態系動態系におよぼす人間活動の影響を霞ヶ浦の富栄養化現象として把握し、その実態を解析し、環境保全、管理のための基礎的資料を得ることを目的として研究を行う。研究班は大きく水域班、陸域班に分けられ、水域についてはラン藻の生理活性を指標として湖の富栄養化との関係を追求め、陸域においては水域との関連から水と塩類の動きを中心にいくつかのテーマを選び実態を明らかにする。

2. 研究の成果

本研究プロジェクトのうち、本学環境科学研究科所属教官の研究成果を要約すると次の如くである。

岩城英夫教授は、平地アカマツ林における有機物、窒素の集積と人為作用に関して研究を進めた。筑波研究学園都市周辺の平地アカマツ林を対象に（図1）、農用林として利用されなくなった林分における下層植生の発展状況と林床、土壌の有機物の集積状態を把握すると共に落葉採取がアカマツ林の窒素の収支にどのように影響するかを明らかにした。

まず放置林におけるリターの集積速度から、アカマツ放置林分におけるリターの集積量を調べた。

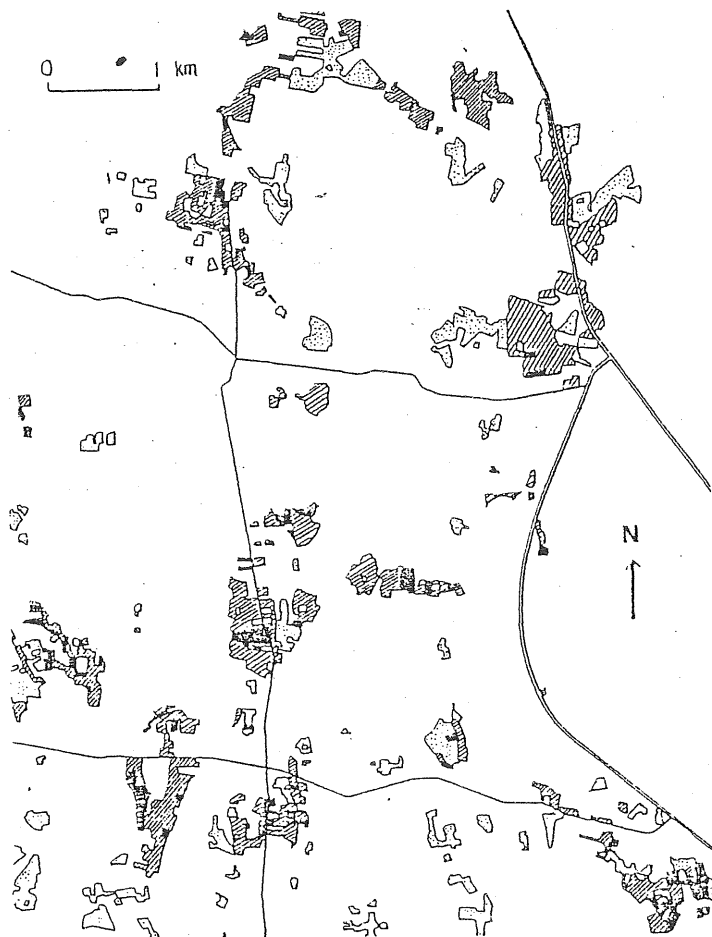


図1 筑波研究学園都市地域の北部地区における平地アカマツ林の分布と管理状況（1979年）。
黒色部分は下刈林分，斜線部分は放置林分，点を打った部分は未調査林分。

下刈・落葉採取をされてきたアカマツ林が放置された時、林床の有機物はどのような経過で増加するかを計算し、模式的に示したのが図2である。なお単純化のため、アカマツのリター落下は秋に集中的に起ると仮定している。図から明らかな様に、放置後のリターは急速に集積するが、約10～

15年で集積量はほぼ平衡状態に達し、ただ季節的な消長をくり返すのみとなる。

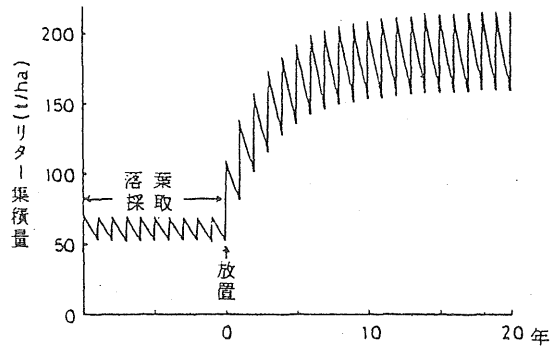


図2 下刈・落葉採取をされていたアカマツ林を放置した時のリター集積過程を示す模式図。

以上のように放置されたアカマツ林では、放置後10数年は地表有機物の集積が進み、そこで動的平衡状態に達する。一方、下層植生、特に木本類の植物現存量はその後も引き続き増加を示し、アカマツ林の有機物量は全体として増加を続けることになる。

次にアカマツ林の窒素の循環を研究した。その結果、図3は土浦市穴塚の下刈林分と放置林分の窒素の集積量と年間の移動量を模式図として示したものである。

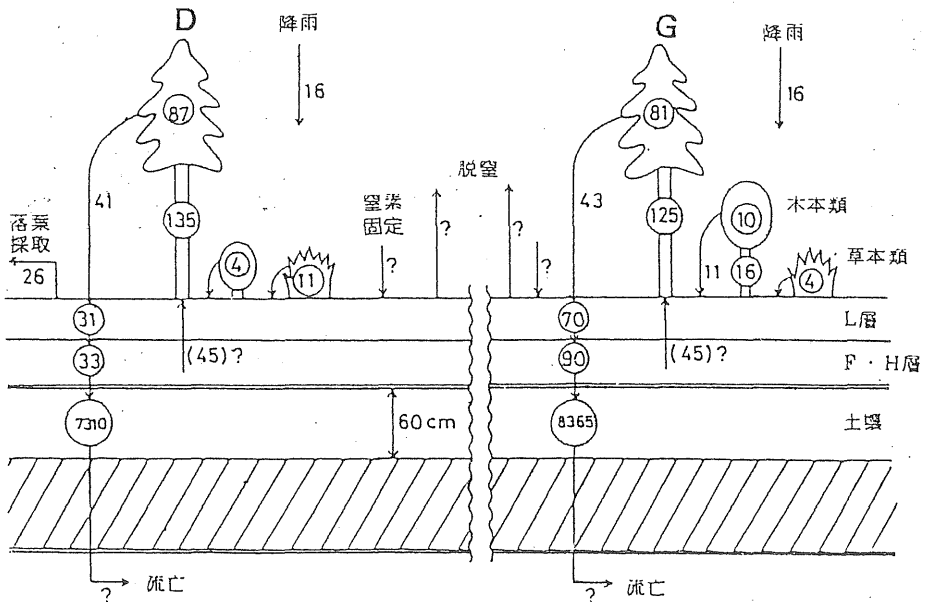


図3 平地アカマツ林における窒素の集積と移動の模式図。円内の数値は集積量 ($N \text{ kg/ha}$) を、矢印をつけた線の横の数値は移動量 ($N \text{ kg/ha} \cdot \text{年}$) を示す。D区(下刈林分)、G区(放置林分)。

図中の円内の数値は窒素の集積量(夏期)、矢印のついた線の横に示した数値は年間移動量を、いずれも1 ha 当りの kg で示している。窒素の集積量については既に述べたが、土壌が最大の窒素の貯蔵庫であり、また放置林分の地表リター中には下刈林分の約3倍の窒素が集積されている。

アカマツ林生態系への窒素の供給源としてまず雨水中の窒素がある。降水中の窒素濃度は地域的にかなりの差があるが、高田・佐伯は霞ヶ浦周辺域の10地点の雨水を分析し、1979年の平均窒素濃度が1.2 ppmに達することを示した。湖沼の富栄養化は窒素濃度が0.3 ppm越えると起るといわれるが、霞ヶ浦周辺域の雨水中の窒素濃度はそれよりもさらに高濃度である。1979年の降雨量は1300 mmであるので、この年には年間1 ha 当り15.6 kgの窒素が雨水に含まれて霞ヶ浦周辺域に供給されたと推定される。生物学的窒素固定もこの系への窒素供給源の一つであるが、量的には不明である。

一方、この系からの窒素の流出には、土壌からの脱窒と地下水に溶けた形での流亡があり、利用されている林では落葉採取による移出がさらにこれに加わる。この地域のアカマツ林の深部土壌は還元状態にあり、脱窒の起る可能性はあるが量的には不明である。また水に伴う窒素の流亡も量的に把握されていないが、平地アカマツ林では降雨量のかなりの部分が蒸発散で失われること、土壌水中の NO_3 イオン濃度がきわめて低いこと、また土壌中での水の垂直方向の動きが遅く、本調査域の関東ローム層の下部には不透水性の常総粘土層が存在することなどからみて、流亡量は小さいものと推定される。

林木のアカマツは樹冠部に81~87 kg/haの窒素を集積し、毎年その約半分の41~43 kg/haの窒素をリターとして地表に落下させる。その一方、根から推定約45 kg/haの窒素を吸収するとみられる。下刈林分では落葉かきによって26 kg/haの窒素を収奪される。これは雨水による全窒素供給の1.6倍に相当する。このような落葉採取が林地の窒素収支にどの程度の影響を与えるかは、窒素固定、脱窒、流亡などの諸量が把握されない限り明らかにされないが、仮に上記の3つの諸量の収支がゼロと考えると、毎年10 kg/haの窒素がこの系から失われるということになる。逆に放置林では毎年16 kg/haの窒素の蓄積が進むことになる。しかし土壌中の窒素の集積量自体が極めて大きいので、数十年程度の放置あるいは落葉採取は系全体の窒素量にそれほど大きな影響を与えるものでないと考えられる。

及川武久助教授は、平地アカマツ林の熱収支と水収支特性について、茨城県新治郡新治村を主体とした霞ヶ浦流域地帯において研究を進めた(図4)。その結果、アカマツ林の熱収支に関しては、図5にあるように λE は R_n , S_t , R_t , といった放射フラックスに対して直線関係にあり、しかもいずれも非常に高い正の相関を示した($r > 0.996$)。この高い相関はアカマツ林の熱収支、水収支を解明するうえで、非常に重要である。つまり、蒸発散量を放射フラックスから推定することが可能となるからである(図5)。またアカマツ林における蒸発散と水収支に関しては、1年間の総蒸散量は最大で99 cm yr^{-1} , 最小で86 cm yr^{-1} となる。表1にあるように、この $\lambda E / (\lambda P + \lambda D)$ 比は、アカマツ林が獲得した水の60%前後は、蒸発散によって失われることを示しており、アカマツ林の水消費はかなり大きいと言える。また7月、8月とも λE_t は λE の約75%に相当する。この25%の

違いは降雨日を除いてあるので、主に林床植生の蒸散に起因していると考えられる(表1)。これらの研究結果から、従来から森林の重要な機能のひとつとして、水源涵養機能があげられているが、本研究で得られた $99 \text{ cm yr}^{-1} \sim 86 \text{ cm yr}^{-1}$ の蒸発散量および65%~56%という高い $\lambda E / (\lambda P + \lambda D)$ 比は、水源涵養という観点からは、平地アカマツ林の役割を否定するものである。中野(1976)は水収支法による多くの観測結果から、我国は一般に多雨地域であり、蒸発散による森林からの水消費はあるものの、主として森林土壌の発達が、雨水の地中への浸透能を高め、その結果として森林が水源涵養機能を発揮するものと考えている。

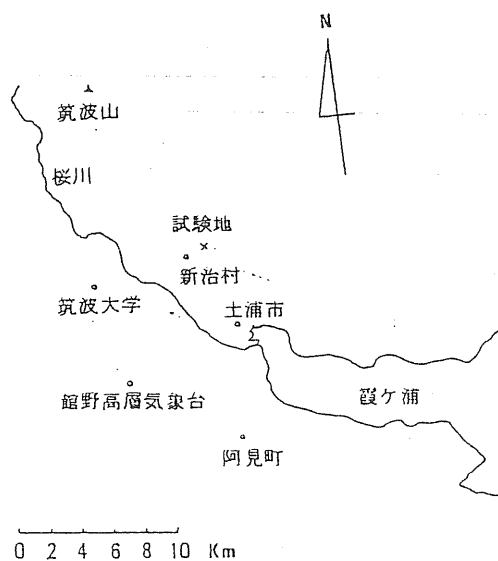


図4 試験地(36° 08' N, 140° 10' E; 海拔28m)の位置関係図。

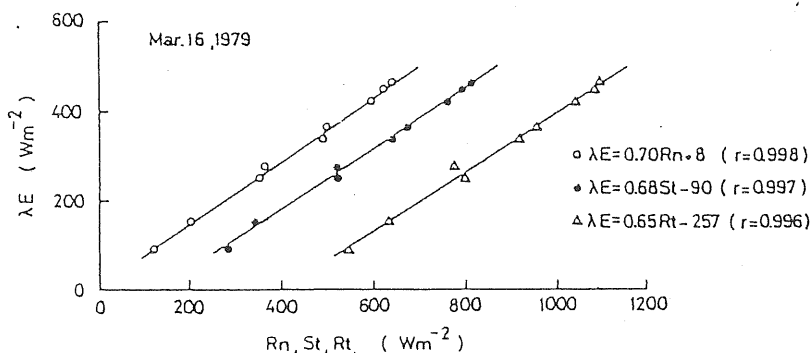


図5 潜熱フラックス λE の純放射フラックス R_n 、全短波放射フラックス S_t 、および下向き全放射フラックス R_t に対する回帰。

吉田富男教授は、応用生物化学系大羽裕教授や永塚鎮男助教授と共同で、筑波台地における土壌断面各層の一般理化学性と土壌水中の無機イオン濃度の分布と季節変動を調べた。茨城県新治郡桜村付近の平坦な火山灰でおおわれた洪積台地において、各種土地利用形態による無機イオンの下層土における分布を定期的に調査した（図6）。

霞ヶ浦周辺の洪積台地上に分布する土壌は、いずれも関東ローム層（火山灰層）を母材として生成したもので、一般に火山灰土壌とよばれているが、土壌系統分類学的には黒ボク土壌綱（Ando soils）に属し、さらに黒色の厚い腐植質A層をもつ黒ボク土（Kuroboku soils）とA層が薄く、黒味の弱い淡色黒ボク土（Light colored ando soils）の2つの土壌型に分類されている。

常陸台地の東南部すなわち鹿島台地、行方台地の大部分および稲敷台地、筑波台地は、わが国における淡色黒ボク土の代表的分布地域である。黒ボク土が腐植含量の高い、黒色の厚いA層で特徴づけられているのに対して淡色黒ボク土は、赤ノッポというその通称が示すように、腐植含量が比較的少なく表層の黒味の弱い土壌である。淡色黒ボク土の分布地域は夏期寡雨で干害を受け易いとともに、降水量の最も少ない冬期には土壌が乾燥し、卓越する北西～西よりの季節風によって軽しよな火山灰表土が飛散されるために腐植の集積が少ないものと考えられている。一方、台地上の凹地や台地を開折している浅谷性緩斜面には、黒色の厚い腐植層をもった黒ボク土（通称黒ノッポ）が局所的に分布している。

これらの地帯の代表的地点に、採水装置を設置して定期的に下層土壌水を採取して、硝酸、硫酸、リン酸、塩素などの各種無機イオン濃度の測定を行った。

本研究の結果、筑波台地における洪積性火山灰土においては各種土地利用形態を異にした林地、畑地、水田、畜舎隣接地帯の各断面土壌で、土壌水に含まれている硝酸、硫酸、塩酸、リン酸などの無機イオン濃度は極めて低いことが明らかになった。しかし、各地帯で土壌成因を異にした赤ノッポ（淡色黒ボク土）と黒ノッポ（湿性黒ボク土）との比較では、地下約2m付近に分布する常総粘土層までの土壌水中の各種イオン濃度は黒ノッポで高い値を示した。黒ノッポのイオン濃度は季節変動がみられ、硝酸イオンや硫酸イオンに関しては、畑地では秋9月頃にピークを示し、水田では湛水時の5月頃にピークを示す傾向がみられた。塩素イオンに関しては季節的変動は殆んどみられなかった。リン酸イオンは本実験に用いた定量法では殆んど検出されなかった。また、地下4m付近の電ヶ崎砂層に相当する位置に分布する粘土層には、いずれの場合も各種無機イオン濃度は極めて低く、季節的変動も殆んど認められなかった。

一般に1979年度に比べて1980年度の無機イオン濃度は低い傾向を示した。

各種無機イオンのうち、硝酸イオンと硫酸イオンに関しては下層の土壌中で微生物相による影響をうけ、イオンの下方への移動中に微生物的還元をうけ脱窒あるいは硫化物になることが推定された。それに比べて塩素イオンは微生物の作用をうけないで下層へ浸透することが推定された。

高橋正征助教授は、生物科学系市村俊英教授と共同で、湖水の栄養特性と「アオコ」の大量発生について研究した。

霞ヶ浦の富栄養化現象を理解するために、霞ヶ浦湖水環境の歴史的変遷過程の資料調査、現在の

霞ヶ浦の湖水環境と生物過程の理解に分けて研究にとり組んだ。歴史的変遷からわかったことは、霞ヶ浦が1900年代の初めから既に「アオコ」の発生が見られるほど富栄養化していたこと、富栄養化はその後も徐々に進み、1965年から10年間で一挙に現在の状態まで変化してしまったことである。1965年以後の変化の著しさは、透明度、pH、溶存酸素など、測定されたすべての項目に認められ、最も顕著なのは全窒素量であった。図1に示したように、全窒素は7年間にほぼ7倍に急増した。

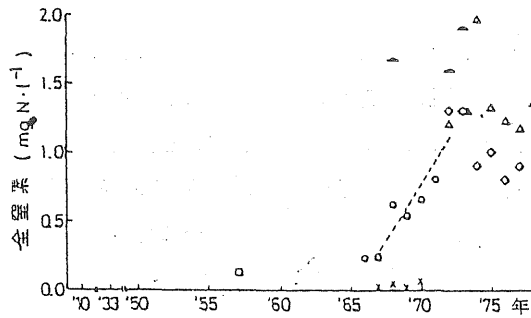


図1 霞ヶ浦（西浦の湖心）の全窒素の推移。点線は1966-1972年の年平均全窒素の平均的变化を示す。資料：□茨城大学農学部霞ヶ浦研究所（1977）、○茨城県（1973）、×茨城県（1972）、△茨城県（1975）、◇茨城県（1979）、△茨城県内水面水産試験場（1973、1975-1979）

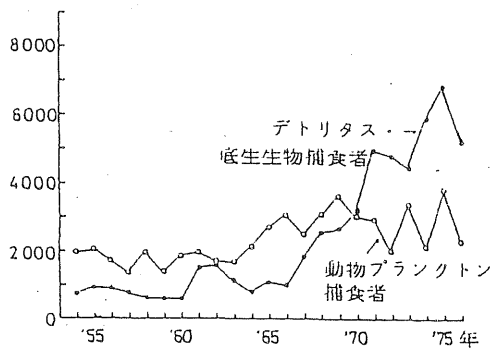


図2 霞ヶ浦（西浦）における動物プランクトン捕食者とデトリタス・底生生物捕食者の漁獲量の推移。詳細は本文参照。

この水中の栄養物質量の増加は、湖内の低次栄養段階を中心として生物量を増加させたが、中でもアオコの増加が著しい。この3年間の研究で、アオコの選択的優占現象が、富栄養化に伴う湖水

の栄養物質量の増加と、N/P比の上昇によってもたらされた可能性が明らかになってきた。さらに栄養条件によるアオコ発生効果が、25℃以上の高水温時に著しいことも判明した。

アオコはコロニーが大きかったり、細胞がゼラチン膜で包まれているために、動物による直接捕食はあまり受けることがなく、多くはデトリタスとして湖底に沈積する。1965年以後のアオコの増加と対応して、デトリタス捕食動物のエビ、イサザアミ、ハゼ、コイ、フナなどが増加し、一方ワカサギやシラウオなどのプランクトン捕食者にはそうした対応変化は見られなかった(図2)。

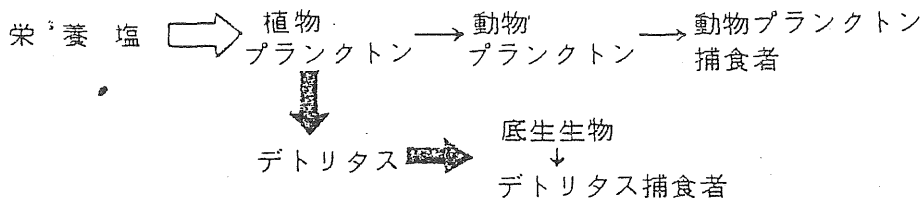


図3 霞ヶ浦で起こっていると思われる食物連鎖の形態。

霞ヶ浦での一連の現象をまとめてみると、栄養環境の変化によって低次生産者の量と質が変化し、湖内の主な食物連鎖がプランクトン捕食系から、デトリタス捕食系へと移行していったことがうかがえる(図3)。