

「サトヤマシステム」論考

大崎 満

1. はじめに
2. トリレンマ構造
3. 「サトヤマ」概念
4. 気候と農法の関係による世界農業の類型と弾力性（Resilience）-脆弱性（Vulnerability）の関係（R-V 関係）
5. 土壌の肥沃度と人口密度の関係
6. 「アジア半月弧」地域とその特性
7. 「サトヤマ」の成立条件
8. 「サトヤマシステム」の評価
9. 「サトヤマ巧学」の構築
10. 最後に

1. はじめに

2007年6月1日、21世紀環境立国戦略（中央環境審議会答申）が閣議決定され、低炭素・循環型・自然共生型の3つの社会から、持続可能な社会を実現するために様々な取組みが進められている。この三つの社会の中で、もっとも漠然としているのが自然共生型社会で、明確な定義も具体的方策もほとんどない。低炭素型社会は、エネルギー問題、それに付随する温暖化ガス（特に二酸化炭素）放出問題がでて、二酸化炭素排出削減や二酸化炭素貯留技術開発と再生可能エネルギーの利用で、解決が図られていく。循環型社会は、資源枯渇と廃棄場の問題がでて、再利用技術開発により、解決が図られていく。それに対して、自然共生型社会は、そもそもいかなる問題よりでて、いかなる技術（対応策）をとろうとするのであろうか。

自然共生を自然（生態・環境）と人との相互連関系ととらえると、自然共生社会とは、社会-自然（生態・環境）の両項を繋ぎ、両項それぞれに係わる人を作用因子とするシステム系を指す。つまり、自然共生型社会は、自然-人-社会システムの不安定化問題に対して、それを安定化させるシステム開発で、解決が図られていく。本来、自然-人-社会システムは、太陽エネルギーにより駆動される系であったが、19世紀以降化石燃料により駆動する社会システムが

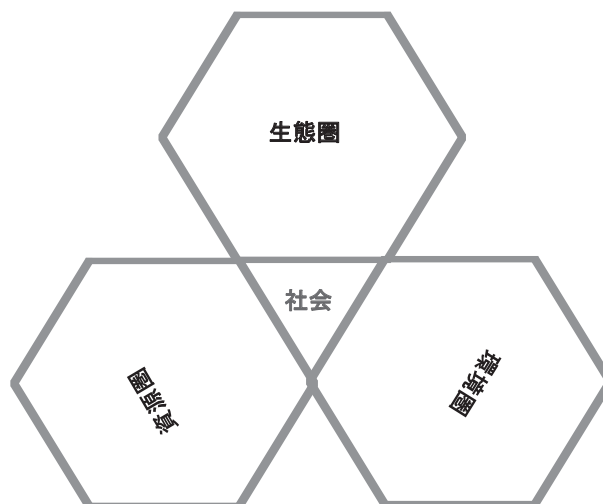


図1 サトヤマシステム：社会（サト）と自然（生態圏・環境圏・資源圏）（ヤマ）との関係

圧倒的優位になり、過剰なエネルギーを使用して自然や人までも資源（natural resources and human resources）として取り扱う自然・人資源社会へと変貌した。自然・人資源社会は、化石燃料や原子力による再生不可能エネルギーにより主に駆動されるが、資源の枯渇とその廃棄物（温暖化ガスや核廃棄物）により、持続的でないことは自明となっている。

太陽エネルギーを駆動源とする自然-人-社会システムは、分解すると人が社会-自然を繋ぐ系で、人は社会（[社会-人]）-自然（[自然-人]）の構成因子でもある。通常西欧では自然は、人を排除した概念で、自然保全・保護とは、基本的にいかに人を排除するかが重要な基本的テーマとなる。これに対して、自然-人-社会システムを社会（サト）-自然（ヤマ）として、両要素に人が深く係わるシステムをサトヤマシステムと呼ぶことにする。サトヤマシステムの自然（ヤマ）では、概念的にも管理・制御的にも生態-環境-資源が独立の状態であり、社会（[社会-人]）は独立の自然（ヤマ）の許容範囲内で成り立ってきた（図1）。自然の構成要素である、「生態」は主に生物圏であり、「環境」は主に空気、水、土であり、「資源」は主に石材、鉱物、化石燃料である。しかし、この社会（サト）-自然（ヤマ）の自立的共生的システムが、長期間（数千年にわたり）維持される自然条件はかなり限られていて、持続的サトヤマシステムは東アジア、東南アジア、そして南アジアの一部にほぼ限定されてきたと考えて良い。

（持続的）サトヤマシステムは、19世紀以降化石燃料の急速な普及により、一貫して崩壊し続け、この崩壊と連動して、地球規模での生態・環境の劣化が顕著に顕現してきた。この対策として提唱されてきた低炭素・循環型社会は、基本的に技術向上と経済効率化で達成可能であるが、自然共生型社会の達成は、現代資本主義の思想や主義そのものに係わることを示していて、難題である。自然共生社会を地球規模で、全てを議論することは不可能であるので、持続

的自然共生型社会の原モデルである「里山」をもとに、21世紀にも通じるサトヤマシステムについて考察する。

2. トリレンマ構造

エネルギー源を太陽エネルギーに頼っていた19世紀以前では、基本的に、人は自然との共存のもとに生活していた。都市が出現し、覇権国家が成立しても、経済の基本原理は自然との共存以外にあり得なかった。もっとも、16世紀からの植民地化、それに伴う奴隷貿易と原住民の奴隷化は、大規模農園での機械が導入される前の収奪的労働力による、一種のプレ機械化大農法であるから、人的資源による太陽エネルギーの集約的投入システムの構築という側面が強い。それが19世紀以降の化石燃料の使用により、特に、20世紀後半に、人・社会を包む生存圏である自然圏（生態圏・環境圏・資源圏）が、強く相互作用・連関するようになり、さらに他地域のそれらの圏にまで権利を伸ばす経済圏が自然圏の中に網目状に張りめぐらされ、資源圏の重要度が増し、従来の自然圏は生態・環境圏として矮小化されつつある（図2）。このように、20世紀後半に顕著になった、「社会」とそれを取り巻く地球規模での「経済圏」「資源圏」「生態・環境圏」のあいだでレンマ（相互背反）が生じ、これの三圏の間の相互レンマをトリレンマと呼ぶこととする。

これまでの経済発展は、科学技術の進歩により、地球上のあらゆる資源を多量に消費することにより成り立ってきた。十分な資源があり、その利用により廃棄される汚染物質を地球が許容できる範囲では、このような経済発展構造が人類を豊にすると考えられているが、実際は許容範囲を規定することができず、いまだに経済発展の大競争時代の最中にある。しかし、急

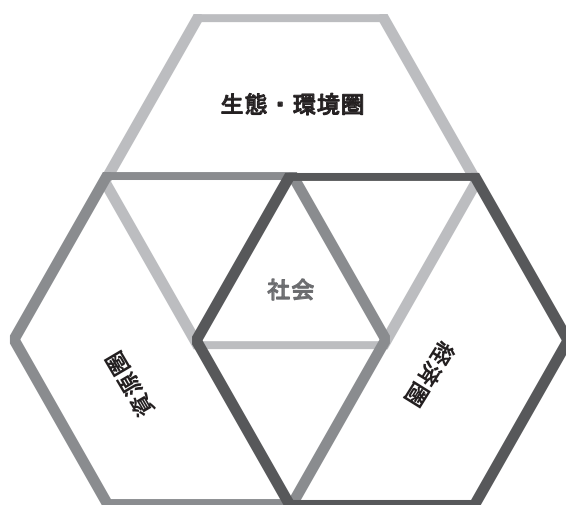


図2 トリレンマ構造：社会とそれを取り巻く圏（生態・環境、資源圏、経済圏）との相互背反関係

激な未曾有の経済発展により、地球規模でトリレンマ構造が顕在化するようになった。つまり、あまりにも経済が巨大化したために、1) 資源が不足し、経済発展の制限要因となり、2) 多量の化石燃料が消費されて二酸化炭素が多量に空气中に放出されて地球温暖化をもたらし、3) 化学物質が地球を汚染して健康に甚大な被害を与えつつある。また、森林資源の減少や食糧生産基盤である土壌の劣化により、いっそう地球環境が悪化し、それが経済発展を抑制するようになりつつある。地球環境を保全しようと思えば、経済発展を抑制しなければならず、そのために資源は守られるように思われるが、しかし、経済発展の抑制による投資資金の枯渇により環境の保全や修復はなおざりにされ、むしろ略奪型資源収奪が横行することになる。このような、巨大な経済発展により、経済圏、資源圏、生態・環境圏の関係はトリレンマ構造を持つようになった。

3. 「サトヤマ」概念

「里山」という言葉は、ずいぶんと昔から日本の社会に根付いているように思えるが、森林生態学者である四手井綱英が、有機物の生産、消費、分解という物質の循環を視野においた研究を進め、「農地に必要な肥料などを採取する森林を「里山」と定義し、「農用林」を言い換えたもの」として初めて使用された言葉である（森まゆみ、2001）。もっとも、尾張藩で1759年に編纂された木曾御材木方に「村里家居近き山をさして里山と申候」という記述が文献に残っているのが最初の例とされている（<http://ja.wikipedia.org/wiki/>）。「里山」の初出は、議論のあるところだが、「里山」が一般的に使われるようになったのは、四手井に依るところが大きい。

飯沼賢司は、田染荘（田染小崎地区の荘園村落）の里山的景観に焦点を当てた調査により、田染荘における文化的景観の構造は、岩峰を中心としたヤマ、サトおよびその間にあるサトヤマの三重構造からなることを明らかにした（飯沼賢司、2010）。サトヤマ空間には、水源としての湧水、堰、池などがあり、この近接地には必ず、神社などの宗教施設があるという。サトの村人たちは、神社に森を残し、基本的にその森を水源と認識していた。

最近、これらの用法を越えて、しかも、あたかも日本に古くからあるような言葉として、「里山」が使用されるようになってきているように思われる。つまり、「里山」という言葉以前に、日本には「里山」と言う概念が古くから存在していたような感じがする。「里山」と言う概念が、生活そのものに深く組み込まれていたとしたら、自明のこととしてわざわざ言語化（表象化）する必要もなかったためである。つまり、「里山」とは、基本的には、現代が発見した概念（言葉）ではないだろうか。あたり前にあったものが崩壊してしまって、その抜けた虚空を探っているうちに、突然内在化して顕在化して来た概念といえる。

さて、以上の例から推察すると、「里山」とは、「農用林」や中世荘園景観から、どうも、「里」（社会）と「山」（自然）の境界領域をさす概念の色彩が強く認められる。一方、「里山」には、「里」（人）と「山」（自然）が共生している、その総体の意味も込められて使用される

場合もあり、最近は、そのような使用が一般的になりつつあるように思われる。K. Takeuchi 等 (2002) は、「里山」に相当する言葉（つまり概念）が、結局、英語には存在しないので、「里山」を Satoyama と表現するしかなかったと記している。この本では、Satoyama を人の居住地に接する二次林や草原で、分かりやすくいうと、（人手の入った）二次的自然（里山、耕作地、居住区、湿地を含む）全般を指すと定義している。この Satoyama 概念が発展して、2010 年の 1 月に行われた国連教育科学文化機関（UNESCO）の総会で、生物多様性の恩恵と人間の福利のための「SATOYAMA イニシアティブ」が宣言として採択された（<http://satoyama-initiative.org/jp/wp-content/uploads/353/Paris-Declaration-JP-26042010-.pdf>, 2010）。ここでは、SATOYAMA は“Socio-ecological production landscapes”（社会生態学的生産ランドスケープ：人間の介入によって生物多様性を保護すると同時に人間に福利を提供する二次的自然）と定義されている。

本論であつかうサトヤマ型生産生態は、水循環系と人間-自然共生という視点で眺めると、典型的にはアジアモンスーン域に存在する。ある意味では、ヒマラヤ山脈-チベット高原を「山」とし、その絶壁のような壁に阻まれたアジアモンスーンがその周辺と日本の北海道にまで多雨をもたらし、その氷河・雪が巨大なダムとして機能し、これが溶けて膨大な量の水を、インダス川、ガンジス川、ブラプマプトラ川、サルウィン川、メコン川、長江、黄河となり供給し、また、この流域やアジアモンスーン域の人の生活圏を「里」とすると、強大なサトヤマ（メガサトヤマ）がヒマラヤ山脈・チベット高原のまわりに形成されているとみることもできる（大崎満, 2007）。このメガサトヤマ生産生態系は、水の供給が豊富で、かつ土壌がヒマラヤ山脈・チベット高原の粘土や火山灰により肥沃で、本来最も生産性が高く、そのため現在でも世界の人口の 4 割が生活し、多様な生態、多様な文化、多様な民族、多様な言語を特色としている。つまり、本論であつかうサトヤマ概念は、地域から大陸規模の広域にまで拡大できる特色を持ち、従来の「里山」「サトヤマ」「Satoyama」概念とはことなるため、「サトヤマシステム」と呼ぶこととする。

4. 気候と農法の関係による世界農業の類型と弾力性 (Resilience)

脆弱性 (Vulnerability) の関係 (R-V 関係)

飯沼二郎 (1982) は、年間降水量（多・少）と降水時期（農業を行う夏に降水量があるか否か）に基づいて農法区分を提案している。気候学的に乾燥地と湿潤地を区別する de Martonne の乾燥指数 (I) は

$$I = R / (T+10)$$

で示される。ここで、R は積算降水量 (mm)、T は平均気温 (°C) をしめす。そこで、年乾燥指数が 20 以上であれば湿潤地、20 以下であれば乾燥地、そして 10 以下であれば砂漠と分類する。また、農業上、年指数よりも夏季の乾燥指数が重要で、6～8 月のみについて計算してみると、5 以上の地域は夏雨型、5 以下の地域は冬雨型となる。そこで、年乾燥指数と夏

季乾燥指数により、世界の農業地域を4つに区分すると以下のごとくなる。

第Ⅰ地域（年乾燥指数20以下で夏季乾燥指数5以下の地域）で西南アジア、地中海（南）、ロシア（南）：乾燥地であり、耐乾性の強い作物を栽培し、地表をしばしば浅くたがやして鎮圧することにより地表からの水分の蒸発を防ぐ（休閒保水作業）といった、「乾燥農法」（dry farming）が行われる。冬雨地帯であるため、耕地は春から秋まで休閒され、休閒保水作業を行い、このようにして保った地中水分を頼りに、10月頃冬作物（主にコムギ）を播種し、発芽後は冬雨に依存して生育する。また、耕地を休閒地と冬作地とに二分して、年ごと交代するが、このような農法は「二圃式」（two field system）と呼ばれる。

第Ⅱ地域（年乾燥指数20以上で夏季乾燥指数5以下の地域）で地中海（北）、ロシア（南）：第Ⅰ地域と同じく休閒保水作業がおこなわれるが、年乾燥指数20以上であるので、作物生産の安定度は第Ⅰ地域に比べてはるかに高い。

第Ⅲ地域（年乾燥指数20以下で夏季乾燥指数5以上の地域）でパンジャブ、中国華北：第Ⅰ地域と同じく、年乾燥指数20以下であるが、夏作物の栽培が可能で、雨の多い時期に鍬による保水作業が繰り返し行われる（中耕保水作業）。

第Ⅳ地域（年乾燥指数20以上で夏季乾燥指数5以上の地域）で北ヨーロッパ、シベリア、東南アジア、東アジア：四地域中最も湿潤な地帯で、夏作物の生育が可能であるが、雑草も繁茂するため、除草作業が不可欠な農作業となる。この除草には二通りのやりかたがある。北ヨーロッパにおいては、冬作物-夏作物-休閒を三年ごとにくりかえす三圃式の休閒期間中に犁で深耕・反転することによって除草を行う（休閒除草作業）。東南アジア・東アジアにおいては、夏作物栽培中に、しばしば鍬による除草が行われる（中耕除草作業）。北ヨーロッパと東南アジア・東アジアでは、夏季乾燥指数5以上の地域であるが、夏季乾燥指数は北ヨーロッパで5～11、東南アジア・東アジアで9～108の間に分布する。そこで、雑草の繁茂の仕方が異なり、北ヨーロッパにおいては、二年間除草なしで耕作を行うことが出来、三年目に休耕にして犁で深耕・反転すればよいが、東南アジア・東アジアにおいては、毎年、頻繁に除草を行わなければならない。なお、ヨーロッパ大陸は、氷河が地形を削り平坦な地形にし、肥沃な土壌が失われ作物生産力は高くない。そのため、大農経営が必要となり、生産力の低い土地に適しているのは基本的に放牧で、これを中心にして三圃式農業が構築されたといえる。

年乾燥指数と夏季乾燥指数による世界の農業地域区分を弾力性-脆弱性関係図にプロットした（図3）。生産生態系において、第Ⅰ地域から順に、弾力性は高まり、脆弱性は低下し、生産力は高まるとともに、生産生態系は安定化する。また、その地域の最適の生態管理を行うと、生産生態系はさらに安定化し、第Ⅰ～Ⅱ地域では休閒保水作業が、第Ⅲ地域では中耕保水作業が、第Ⅳ地域では除草作業が、有効な農法となる。つまり、第Ⅰ～Ⅲ地域では地表面の保水作業が重要で、第Ⅳ地域では地表面の保水よりは旺盛な生育の雑草の管理がむしろ重要となる。

5. 土壌の肥沃度と人口密度の関係

地球上の人口密度分布には大きな差異が認められ、マクロに見た場合に人口分布を決める自然の要因は何であろうか。若月利之・三輪睿太郎（1993）は食糧の生産性について人口密度を指標として、降水量と土壌肥沃度の観点から検討している。図4は世界の人口密度と年間降水量分布を示した図で、黒点の集中している地域が人口密集地である。人口密度分布は降雨量（あるいは河川による水供給）による制限を明らかに受けている。ナイルデルタのエジプト等を別

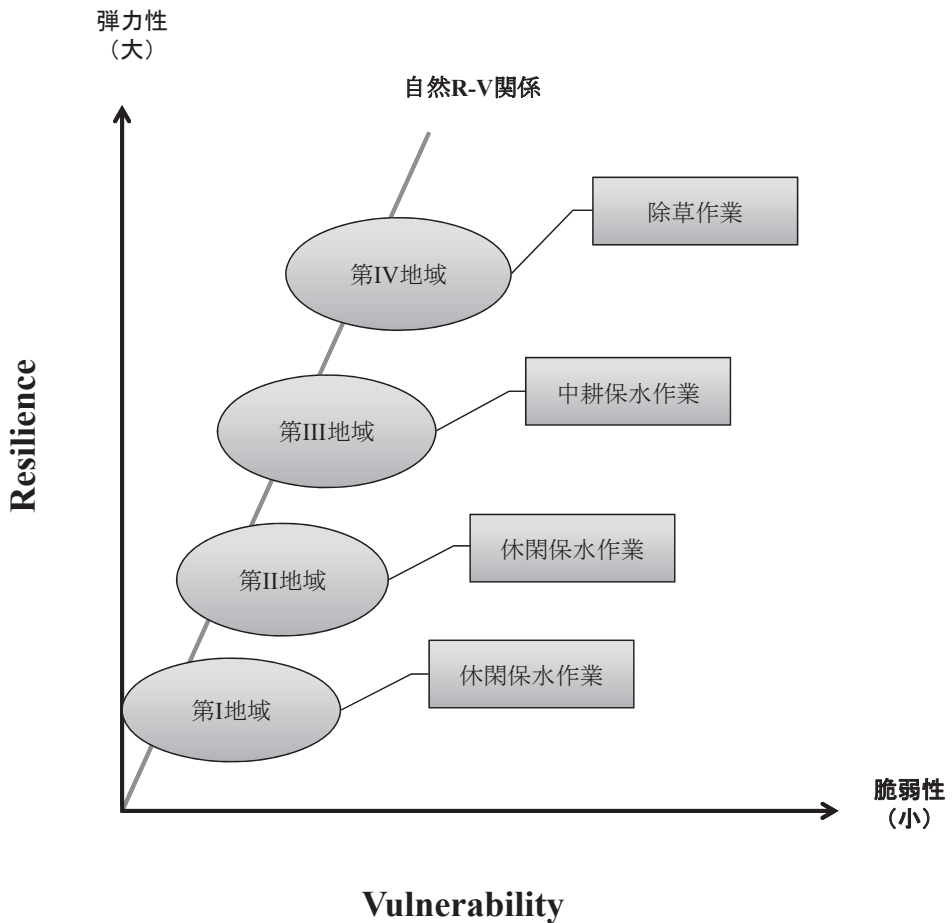


図3 年乾燥指数と夏季乾燥指数による世界の農業地域区分と弾力性 - 脆弱性構造

第I地域（年乾燥指数20以下で夏季乾燥指数5以下の地域）：西南アジア、地中海（南）、ロシア（南）

第II地域（年乾燥指数20以上で夏季乾燥指数5以下の地域）：地中海（北）、ロシア（南）

第III地域（年乾燥指数20以下で夏季乾燥指数5以上の地域）：パンジャブ、中国華北

第IV地域（年乾燥指数20以上で夏季乾燥指数5以上の地域）：北ヨーロッパ、シベリア、東南アジア、東アジア

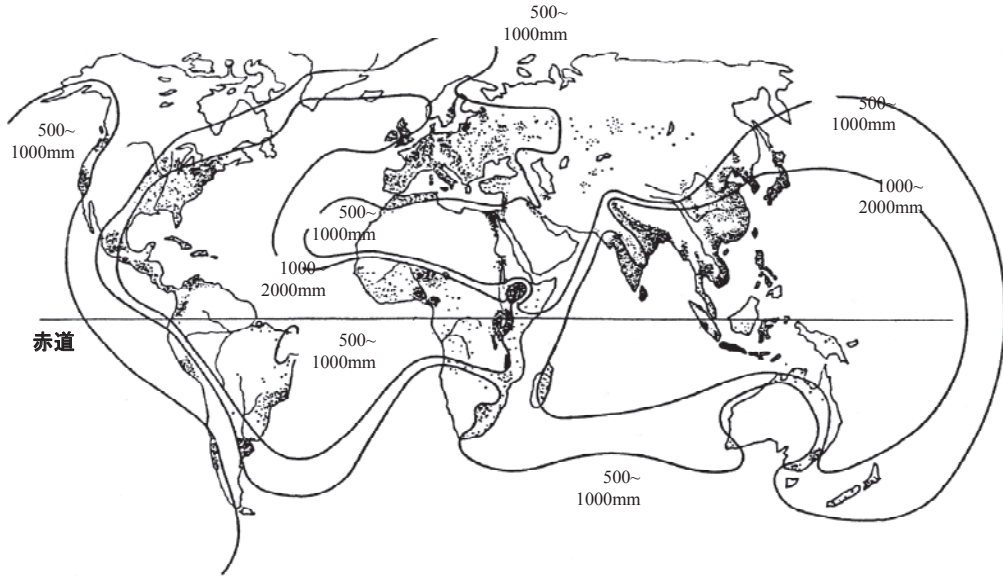


図4 降水量と人口の関係

(点が人口を示し、線が年間降水量を示す。若月利之・三輪睿太郎(1993)を参照して作成)

にすれば、蒸発散の少ない温帯地域では年間降雨量が500-1000mm以上の地域、蒸発散の多い熱帯地域では1000-2000mm以上の地域にのみ高人口密度分布域が存在する。しかし、降雨量は十分であるにもかかわらず、ザイール(現コンゴ)盆地のように人口密度の空白地も広い。東南アジアのインドネシアでは、ジャワ島の人口密度が1000人/km²に近いのに、スマトラ、カリマンタンは各60、14人/km²と大きな差がある。南米ではアマゾンの熱帯雨林の人口密度は極端に小さい。一方、中米の火山地帯の人口密度は高い。つまり、これらの人口密度集積地帯では、単位面積当たりで使用可能な水が十分あることに加えて、この地域の土壌の自然肥沃度(地質学的施肥作用)に依存しているとみることができる。このような地質学的施肥作用は、川(水)による沖積作用、風による塵(黄砂)の運搬作用、火山活動による火山灰や溶岩の供給による。

これらを参考に、土壌の肥沃度を高くしている地質学的施肥作用を次の五つに区分する。

河川による運搬沖積作用：数年～数十年のタイムスケールで繰り返される洪水は肥沃な低湿地土(Inceptisol)を生成する。熱帯アジアではヒマラヤ山脈とモンスーンの存在によって、特にデルタの生成が顕著である。ナイルデルタは上流部のエチオピア高原やビクトリア湖周辺に分布する肥沃な火山灰土の恩恵も受けて、極めて肥沃である。

火山活動による火山灰や溶岩の供給：数100～数1000年のタイムスケールで供給される火山灰は土壌の若返りをもたらし、養分に富み、活力のある肥沃な土壌(Andosol)を生成する。エチオピア高地やビクトリア湖周辺地域、環太平洋火山帯地域は火山の恩恵を受けている。マヤ文明やインカ文明は肥沃な火山灰土壌による高い農業生産力をベースに成立したとい

える。

風によるレスの供給： サハラ砂漠のレスは塩基に富み肥沃で、ナイジェリア南部がこの恩恵を受けている。中国東部地域はゴビや黄土高原等からのレスの供給を受けて肥沃である。

適度の浸食による土壌の若返り作用： インドデカン高原は、今から約 6600 万年前インド亜大陸がユレニオ（マダガスカルの東方）ホットスポットの真上を通過したときの洪水玄武岩である（酒井治孝、2007）。地球深部から上昇してきたブリュームが地表に達し、ホットスポットが形成され始めた時期に比較的短い期間に非常に大量に噴出した洪水玄武岩で覆われた。玄武岩は塩基成分に富み、これを母材とした黒色の肥沃なレグール土（Vertisol）が生成している。Vertisol の熟成年数は 1 万年以内と推定されており、ここの Vertisol は土壌浸食と土壌生成のバランスが保たれているために肥沃である。過度な浸食は土壌層の消失をもたらし、砂漠化を引き起こすが、逆に土壌生成に比べて浸食が非常に小さい場合には、長期的には土壌養分の溶脱と消耗をきたし、老化土壌（Oxisol）を生成する。

地殻からの粘土供給作用による肥沃度の差： 大陸地殻の 69% はクラトン（剛塊）と呼ばれる 25 億年より古い岩石から構成され、大陸地殻上部は主に花崗岩質（SiO₂ 約 70%）の岩石からなる（酒井治孝、2007）。花崗岩質岩石はシリカに富み、玄武岩質岩石に較べて、塩基（栄養素）が乏しく地力は低い。また、安定した大陸部では、絶えず浸食により粘土が流失する。降水量が多いと、雨は炭酸が溶けて酸性に傾いており、塩基が溶脱し土壌が酸性化し、さらに貧栄養化する。さらに、北米とヨーロッパ大陸は水河で覆われていたことから表土が削られ、地力は低い。一方、新世紀の地殻は造山運動により形成され、海底の堆積土が押し上げられた地形が多く、大陸部の地殻に比べて比較的肥沃な粘土を供給できる。特に、ヒマラヤ山系・チベット高原、アンデス山脈、アルプス山脈、ロッキー山脈は、急峻で浸食も激しく、栄養価の高い粘土鉱物を平野部に供給するため、山脈の平野部では肥沃な土壌が形成される。

6. 「アジア半月孤」地域とその特性

水は生物に極めて重要で、生物生産生態にも本質的影響を与えることから、農法区分を年間降水量（多・少）と降水時期（農業を行う夏に降水量があるか否か）に基づいて行うのは妥当であろう。また、降雨以外にも、地力も重要である。一方、水は降雨パターンだけでなく、水循環システム（水循環駆動力、水の供給力と貯留力）も重要な要因である。先の第 IV 地域（年乾燥指数 20 以上で夏季乾燥指数 5 以上の地域）では、北ヨーロッパ、東南・東アジアは同一地域に分類されるが、水循環システムと地力を加味すると、第 IV 地域の北ヨーロッパと東南・東アジアは全くことなる生物生産システムに属することが明らかとなる（図 5）。

ヨーロッパの大陸部に発達した、三圃式農業では穀物-根菜類-牧草-家畜-森林を組み合わせることにより、特に土壌肥沃度を高めて、生産生態系の安定性・持続性を確保している。しかし、除草は休閒除草作業ですむことなどから、基本的に生産性は高くなく、広い面積の確保により成り立つ生産生態系である。なお、アメリカ型の大陸部に発達した現代農業は、基本的に

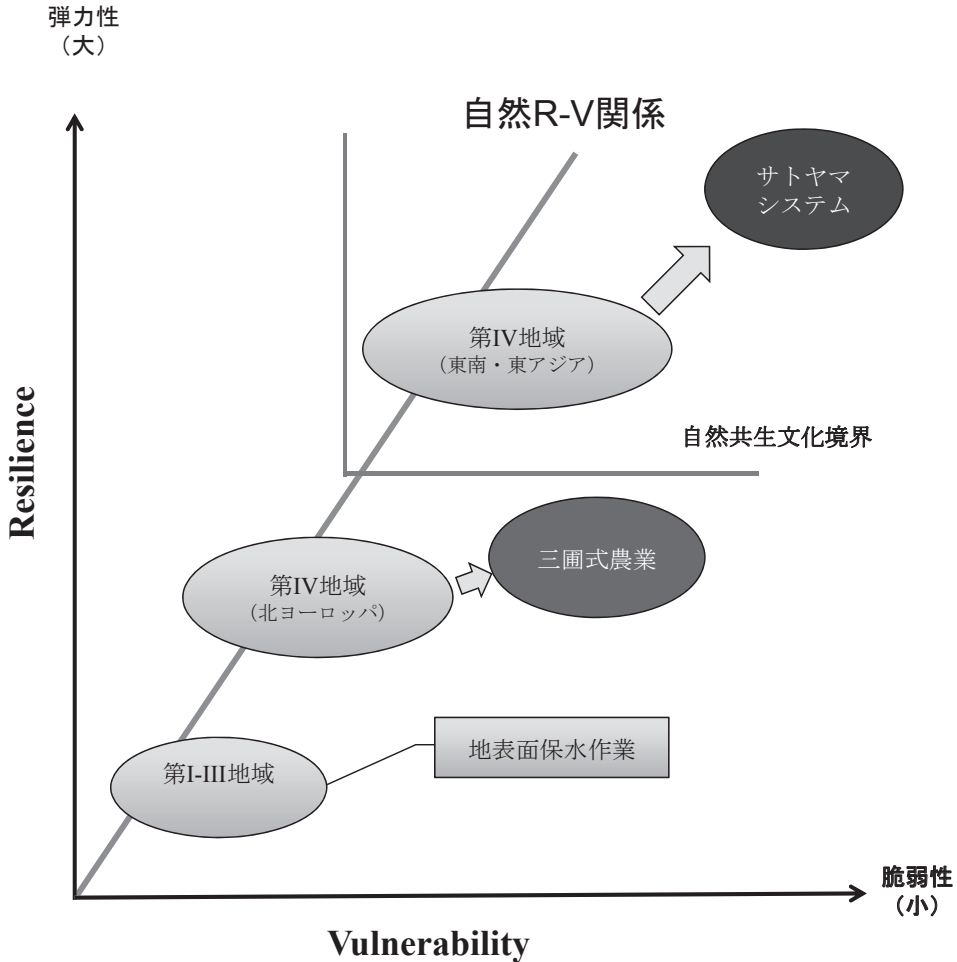


図5 弾力性-脆弱性構造上での第IV地域の北ヨーロッパと東南・東アジアへの分離

土壌肥沃度が低く、水供給が限定されるため生産性は低いですが、化学肥料・農薬・除草剤の大量投入と大型機械の投入により、20世紀型農業システムとしては経済的には最も効率が良かった。しかし、21世紀に入り、土壌環境の劣化、地下水の枯渇、気候変動による降水量と降水パターンの変化、安い化石燃料の枯渇等が複合的に顕現化してきており、アメリカ型生産生態系の不安定化が急速に進みつつある。

本論では、東南・東・南アジアの一部に成立する生産生態をサトヤマシステムと呼ぶことにするが、中耕除草作業が必ず必要で、極めて旺盛な生産生態系であることを示している。この生産生態はもともと、水の供給が豊富で、土壌も肥沃で、生物多様性も有る。かつて、チグリス・ユーフラテス流域は、肥沃な土壌と豊富な水供給により、食糧生産が極めて高く、メソポタミア文明を創出し、この肥沃な地域を「メソポタミア半月弧」とよばれていたが、土壌の疲弊（塩の集積）により文明は崩壊した。東南・東・南アジアの一部には、チグリス・ユーフラ

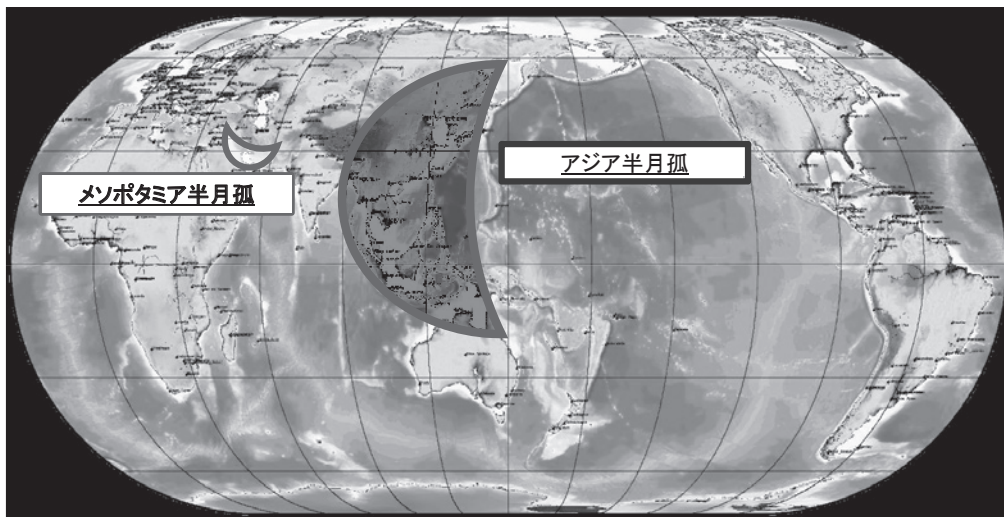


図6 メソポタミア半月孤とアジア半月孤

テス流域以上に肥沃で、持続的な生物生産システムを確立し、有史以来、世界的にも常に高い人口比率を保ってきた地域がある。この地域を「アジア半月孤」と呼ぶことにする（図6）。そして、この地域こそが、「サトヤマシステム」を確立し、自然共生的文化・思想を発展させてきた。先の第Ⅳ地域の北ヨーロッパで三圃農業を産みだし、生産性を向上し持続性（弾力性を高め脆弱性を低下）を高めたにもかかわらず、過酷な「自然の制御」の成功と捉えられ、「自然共生的文化・思想」を生むことはなかった（図5）。

「アジア半月孤」には、日本列島、揚子江流域、東南アジア、ガンジス流域、ヒマラヤ山・チベット高原系域を想定する。なお、北端部のアムール・オホーツク圏では、タイガーからの無機栄養がアムール川を通してオホーツク海に供給され、この海域の旺盛な生物生産性を支えており、サケや海鳥等が無機栄養を陸域生態にもどす、一種の循環系を形成しており、この系も「サトヤマシステム」に含める。「アジア半月孤」における環境・生態・地理的特徴は、1) 豊富な水資源、2) 肥沃な土壌、3) 生物多様性であり、これらは相互にプラスの作用を果たしている。

豊富な水資源：「アジア半月孤」は、降水区分では、第Ⅳ地域（年乾燥指数20以上で夏季乾燥指数5以上の地域）に属するが、夏季乾燥指数は北ヨーロッパの5～11に比べても、東南アジア・東アジアで9～108の間に分布し、極めて多雨な気候である。水循環の駆動力は、アジアモンスーンで、ヒマラヤ山脈・チベット山系の壁にはばまれ東にまわりこみ、水を供給する。夏にチベット高原が暖まると、大気上層では、高気圧システムが形成され、気象システムを導くジェット気流がヒマラヤの南側からチベット高原の北側に遷移する。この遷移に伴い、水蒸気を含んだ熱帯の空気はインドを超えてさらに北に引き込まれ、この地域に大雨をもたらす。北への引き込まれは他の地域には見られないほど強く、太平洋暖流の駆動力もあって東ア

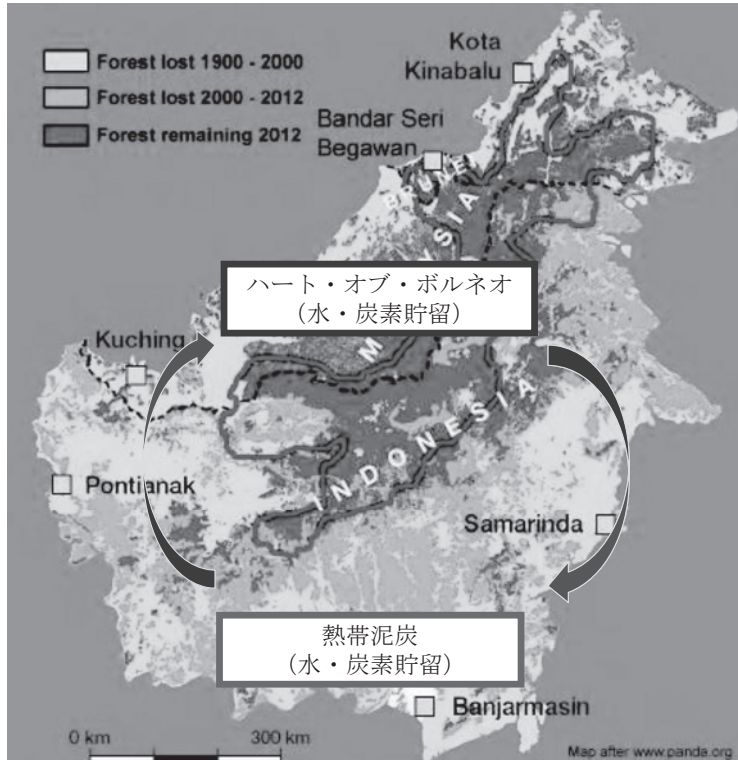


図7 ボルネオ島における熱帯泥炭森林とハート・オブ・ボルネオの熱帯雨林における水・炭素貯留に関する正のフィードバック関係

(開発圧と気候変動圧で、負のフィードバック関係に切り替わる可能性が大きい)

ジア・モンスーンとして、日本や朝鮮半島に達する。さらに、ヒマラヤ山脈-チベット高原には雪・氷河があり、これが巨大な貯水プールとして機能し、これが溶けて膨大な量の水を安定的に供給し、ガンジス川、プラプマプトラ川、サルウィン川、メコン川、長江、(インダス川、黄河は「アジア半月弧」には含めない)となる。ヒマラヤ山脈-チベット高原地域からの水供給とアジアモンスーンは作物の生育が旺盛になる夏に水を供給するシステムで、この豊富な水がこの地域での稲作を可能にし、生産性を高く保つことができた。また、スダ海棚(図8)では広域において浅海や島嶼が広がり、海水が熱せられやすく積乱雲が形成され、水と熱の巨大な輸送センターとなっており、地球規模での気候変動にも大きな影響を与えていることが解明されつつある。

日本列島も山脈に冬に積雪した貯留水が、春から安定的に水田に水を供給する。山脈は雪にしろ、森林にしろ、巨大な水タンクとして機能し、安定的に低地に水を供給する。ボルネオ島においては、低地の熱帯泥炭森林では地下に炭素と水を多量に貯留し、中央嶺のハート・オブ・ボルネオ地帯の熱帯雨林では地上部に炭素(バイオマス)と地下に水を多量に貯留し、水・



図8 氷河期のスンダ大陸と河川図

(スンダ大陸棚は現在浅海で、マングローブ、海藻、珊瑚、魚介類の生物多様性が世界でも最も高い海域)

炭素貯留に関して相互に正のフィードバック関係を示す(図7)。開発により、一方が破壊されると、特に水循環系が崩壊し、ついで炭素貯留系が崩壊する。ボルネオ島では、数十ギガトン炭素の貯留が有り、これらが放出されると、地球規模で温暖化促進要因となる。

肥沃な土壌：「アジア半月弧」の地殻は第三期のものが多く、新しい地殻で大陸部に比べるとミネラルに富み肥沃である。東南アジア、中国南部、日本は大陸の周辺部に位置し、造山運動や火山活動から山岳的地形が多く、したがって、地質学的施肥作用も活発で、1) ヒマラヤ山脈-チベット高原の河川は多量の粘土を供給し、2) インドネシア、フィリピン、日本等の環太平洋火山帯地域では火山活動が活発で火山灰や溶岩を供給して土壌の若返りをもたらす。

生物多様性： アジヤモンスーン地域の生態系と生物相は地球上の他の地域にくらべて多様で、その理由として、1) 生物生産性の高さ、2) 生物相そのものの地理的・歴史的条件である(中静透、1998)。この地域の最も特徴的な点として、南回帰線付近の熱帯から北緯60度以上の寒帯まで湿潤な気候と肥沃な土壌が連続する点である。地球上のほかの多くの地域では、亜熱帯付近に貿易風の収束帯があって常に高気圧となるために乾燥地帯が広がる場合が多く、砂漠や草原が森林を分断する。また、アジヤモンスーン地域からオセアニア地域のニュージーランドまでのとくに沿岸地域には森林植生がつながり、いわゆる「グリーンベルト」を形成している。ボルネオ島北部に聳える標高4101mのキナバル山を中心として、東西経度25度のとこ

ろに日本の東京とインド東部のカルカッタがあり、東京とカルカッタに広がる経度で挟まれた地域がアジア・グリーンベルト (Asian Green-belt) と呼ばれている (松本健一、2006)。

1万2千年ほど前は氷河期で、今より海水面が100mほど低く、東南アジアの海図でスンダ海棚と書かれた地域が、現在のインドシナ半島、マレー半島、スマトラ島、ジャワ島、ボルネオ島、フィリピン諸島の一部とつながり、スンダ大陸を形成していた (図8)。このスンダ大陸が、熱帯から温帯、寒帯をつなぐアジア・グリーンベルトの形成に貢献したと考えられる。また、スンダ海棚の海底地形図には、川の痕がはっきり読み取れる。タイを流れるチャプラオ川は、タイランド湾をさらに南東に1,500kmほど流れ、南シナ海に注いでいた。また、インドネシアスマトラ島から流れるカンバル川がシンガポールをかすめて、チャプラオ川に合流していた。また、スマトラのムシ川・バタンガリ川と西カリマンタンのカプアス川も合流し、南シナ海に注いでいたし、メコン川も現在より400kmほど沖で、南シナ海に注いでいた。この南シナ海に面するスンダ大陸の弧状の海岸線は上弦の月のように見え、大河から養分とミネラル (粘土) を供給されて、極めて肥沃な土壌であったと考えられるので、「スンダの肥沃な半月弧」と呼ぶこととする。スンダ大陸域であった現在の海域 (スンダ海棚) において、生物多様性が極めて高く、マングローブ、海草、珊瑚の種は世界の海域の9割近くがここに生息している (B. Groombridge and M. D. Jenkins, 2002)。したがって、この海域には豊富な魚介類も生息している。さらに氷河期には、北方の動植物もボルネオ島まで回避してきており、温暖化でボルネオ島が孤立して種が隔離され、そのような経緯から世界で最も生物多様性が高いと推定されている。

7. 「サトヤマ」の成立条件

ここで言う「サトヤマシステム」とは、「アジア半月孤」に成立する生物生産システムのことである。「アジア半月孤」には多彩な生産生態系が存在するが、その地域の環境・生態・地理的特徴は、1) 豊富な水資源、2) 肥沃な土壌、3) 生物多様性であり、何らかの形でこれらの特性を有効利用し、さらに高いポテンシャルにこれらを引き上げてきたのが「サトヤマシステム」である (図5)。

「サトヤマシステム」で鍵となるのは、広く薄い太陽エネルギーを系全体で、いかに効率的に使用するかである。太陽エネルギーは直接植物のエネルギー源となり、二酸化炭素から炭水化物を合成する。さらに、間接的には、水循環、海流、気象・気候等に影響する。「サトヤマシステム」では、基本構造として山岳部と平野部が川で結合されているのが特徴で、山岳部では雪・氷や森林による降雨の地下浸透等で、水の巨大な貯留機能を果たしている。この貯留され安定的に供給される水資源を、棚田、水田等で使い、系内滞留時間を長くし、繰り返し作物 (植物) 等の蒸発散に利用され、さらに蒸発散が雲として内陸部に再度運ばれ降水となる域内水再循環系を構成する。このように域内での水循環の人為的制御が、さらに豊かな生産生態を維持し、植物 (生物) 多様性も保ってきている (図5)。

また、「アジア半月孤」地域では、河川は無機栄養に富んでおり、粘土鉱物も豊富で、生産生態系をくまなく流れることから、随時、養分が吸収され、有機物も堆肥等で戻すとするとその地に栄養分が集積していく。1909年、米国の農業物理学の権威、フランクリン・ハイラム・キングが来日し、中国や朝鮮も訪ねて東アジアの伝統的農業の調査を実施した（F.H.キング、2009）。当時、米国では既に農地が疲弊し、土壌の肥沃度が低下したため、4000年の昔から高い農業生産を維持している東アジアの農業システムを解析するためであった。その報告書によると、集約栽培、有機廃棄物の利用等の特質をもち、運河と水路を張り巡らし、堤防で氾濫を抑制し、豊かな土を容易に流出させない工夫がみられる。人畜の糞尿や藁を堆肥化して、化学肥料にたよらず、何も無駄にしない、低コストの循環型農法が確立していると感嘆している。これは、「アジア半月孤」における「サトヤマシステム」の一断面を捉えたものである。最近、ブラジルの原住民インデオが、バイオ炭（Biochar、低品質の炭を土壌に施与）により、劣悪なアマゾンの土壌を肥沃な黒土であるテラ・プレタ土壌に改良し、炭素の土壌貯留（有機物と違って分解しにくい）とバイオマス生産の著しい向上を同時に成し遂げていたことが近年明らかになってきた（J. Lehmann et al., 2006）。日本においても、例えば累積性黒ボク土で、植物炭化物が土壌における炭素貯留だけでなく、A型腐植酸およびフルボ酸の生成に寄与することが明らかとなってきている（宮崎圭介等 2009）。黒ボク土は日本の畑の土の半分ほどを占める。黒ボク土は、火山灰が風化されて放出するアルミニウムと植物が土壌中で分解して出来る腐食と結合して、アルミニウム-腐食複合体が多量に形成され、これが黒く見えることから黒ボク土と呼ばれる。なお、黒ボク土は一般的に pH が低く、リンがアルミニウムと結合して不可給態に成るために、pH 調整が必要でこの問題を解決すると、大変肥沃な土壌となる。

以上のことから、「アジア半月孤」地域では、自然条件に恵まれ、水供給システムが極めて優れ、土壌母材も概して無機栄養に富んでいる。その水供給システムを、水田等で水路網を構築して滞留型・循環型に改変し、水供給システムから無機栄養や粘土鉱物を吸収・沈積し、さらに有機物や炭化物により土壌改良を行ってきた系が、「サトヤマシステム」である。気候変動により、特に地球規模で水循環が狂い始め、「サトヤマシステム」のように水利網を持たない地域の生物生産生態は著しく不安化し始めている。「サトヤマシステム」は、気候変動の緩和策、対応策として極めて重要なシステムとなっていくであろう。

8. 「サトヤマシステム」の評価

「サトヤマシステム」は、広く薄い太陽エネルギーに依存する系である。「サトヤマシステム」には、巨大な水貯留タンクが高所に設置されているようなもので、この水循環ポンプも太陽エネルギーにより駆動されている。これまでの「里山」や Satoyama では、狭い地域に限定された系を想定していた。「サトヤマシステム」は、むしろ広域にわたる太陽エネルギー依存系であるので、その維持のためにはシステム全体の詳細で高精度の評価が不可欠である。

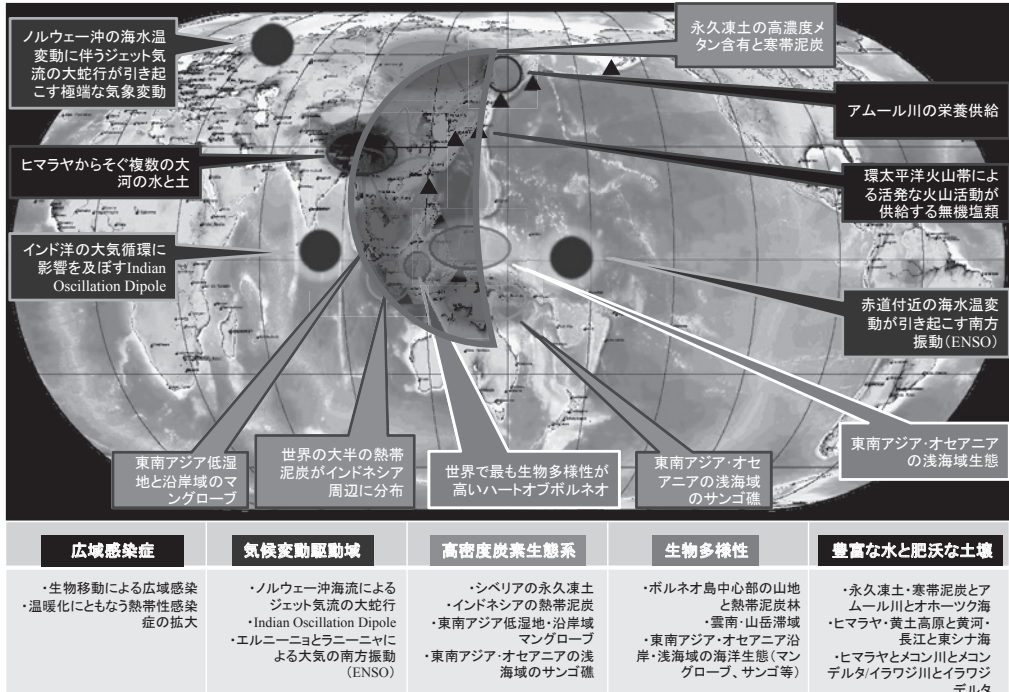


図9 アジア半月弧における人・生態・環境ハイパーリンク (HEEH) の構成要素

アジア半月弧では、トリレンマ構造(経済圏-生態・環境圏-資源圏間の相互背反)が、経済規模の急速な拡大により、20世紀後半から明確になって来た。さらに、トリレンマ構造下では、経済圏-生態・環境圏-資源圏の各圏の各種要素間でこれまで認識されなかったような極めて複雑で大規模な負の相互連関網の形成が明確になってきており、これを人・生態・環境ハイパーリンケージ(Human-Ecology-Environment Hyperlinkage, HEEH)システムと呼ぶことにする(図9)。HEEHシステムは基本的に広く薄い太陽エネルギー(低密度エネルギー)により駆動力されている。低密度エネルギーは生態系でバイオマスとして蓄積し、環境系では陸域、海洋では熱として蓄積・循環する。また、低密度エネルギーの輸送は、海流や雲による水循環(蒸発散-雲-降雨-河川-海)を通しておこなわれる。HEEHシステム駆動力の変動をいかに正確に計測できるかが、HEEHシステム構造解明の基盤となる。北海道大学では、地球規模でこのHEEHシステムの「計測評価」技術の開発を進め、世界で初めてオペレーション可能なレベルに達した。HEEHシステムの「計測評価」は、【高度センシング技術】(統合MRVシステム、LCTFを利用した超高解像度衛星画像データ、Hyper Sensor Function)、【高度リアルタイムモニタリング技術】(フィールドデータ伝送システム(Sesame)、SESMAによる土地利用状況・生態系情報の解析)、【ビッグデータ解析技術】(大規模異種時系列データのリアルタイム解析と予測・異常検知手法の設計、メガデータ解析結果高度ビジュアライゼーション手法の設計)により構成される。

Hyperspectral Sensing by LCTF / HISUI

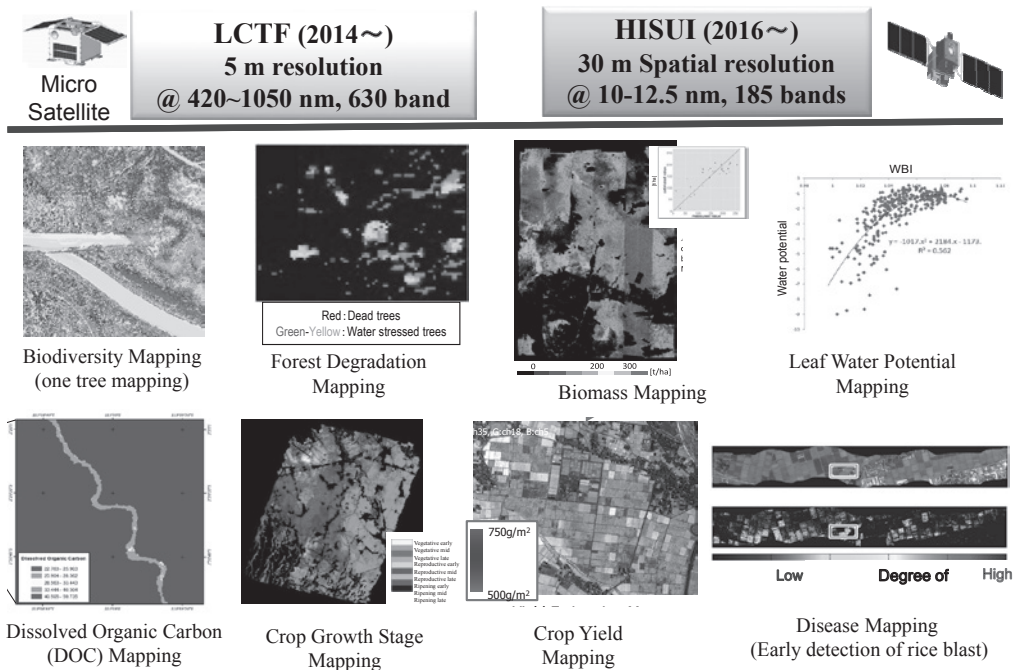


図 10 ハイパーセンサーによる生態・環境センシングの革新化

ハイパースペクトルセンサー（LCTF）の開発・利用： センシングシステムの革新化が起きた。Liquid Crystal Tunable Filter（LCTF）は、超軽量で約 600 バンドのスペクトルで、3～5 m の解像度がある。北海道大学のグループが世界で初めて開発し、UAV（無人飛行機）でフィールド試験に成功し、これを本年度マイクロサテライトに搭載する。これにより、樹木一本一本の解析が可能となり、樹木（生物）多様性、植物フェノロジー（生理反応）、植物フェノロジーを通じた地下部情報、環境汚染、作物の生育・収量等の地球規模マッピングが可能となる（図 10）。この LCTF により、HEEH システムのリアルタイム計測が可能となり、生態・環境におよぼすヒューマンインパクト、気候変動インパクトの具体的計測が可能となる。つまり、LCTF により、地球規模の生態・環境の観測・計測・解析が革新化される。

広域リアルタイム計測システム： モニタリングシステムの革新化が起きた。地上部観測センサーの広域リアルタイムネットワーク（SESAM）化に、北大のグループが成功した。これまでも、このようなネットワークシステムは存在したが、極めて高価で試験レベルにとどまり、一般普及は困難であった。SESAM により、世界中何処でも安価にリアルタイムで観測データを入手できるようになった。

メガデータ統合・解析システム： 人・生態・環境ハイパーリンク（HEEH）システムにおいては、膨大な蓄積データと今後上記の LCTF と SESAM により得られるリアルタイムデー

タを統合した解析が重要となる。このような HEEH システムを前提としたメガデータ解析手法を世界に先駆けて開発を進めている。

このような統合的解析により、アジア半月孤「サトヤマシステム」が具体的に解析でき、広域にわたる、自然資本、生態系サービス、気候変動に対する脆弱性・柔軟性の評価、また、気候変動に対する適応策・緩和策の策定が可能となる。アジア半月孤「サトヤマシステム」には、国連気候変動枠組条約（UNFCCC：United Nations Framework Convention on Climate Change）が最近特に注目し始めた、三つの高密度炭素生態（泥炭・低湿地、マングローブ・沿岸域生態・珊瑚、永久凍土）が存在する（図9）。この高密度炭素生態は、炭素（温暖化ガス）と水の巨大な貯留地であり、これら高密度炭素生態の保全が緊急課題である。また、アジア半月孤「サトヤマシステム」の外縁部には、三つの気候変動要因となる三つのスポット（ノルウェー沖海流によるジェット気流の大蛇行、Indian Oscillation Dipole、エルニーニョとラニーニャによる大気の南方振動（ENSO））が存在し、気候変動の影響を最も強く受ける地域である（図9）。さらに、スダ海棚（図8）では浅海や島嶼が多く、海水が熱せられやすく積乱雲が形成され、水と熱の巨大な輸送センターとなっており、地球規模で水と熱の大循環に大きな影響を与えている。

9. 「サトヤマ巧学」の構築

「サトヤマシステム」の駆動力の基本は広くて薄い太陽エネルギーである。各地域においては、自然資本を使う自然共生型社会の設計のために、自然再生エネルギー開発、有機物循環、マングローブ林による高潮・津波対策、バイオ炭による土壌改良など、自然生態系を活用した持続的自然管理・利用技術の開発のシステム作りとそれを支える中小企業コンソーシアムが今後不可欠となる。「サトヤマシステム」の維持のために、広くて薄い太陽エネルギーの利用を「サトヤマ巧学」と名付ける。

その例として、北海道下川町における「サトヤマ巧学」による、自然共生モデルおよびサトヤマモデル展開の可能性について述べる。下川町が森林総合特区に認定されたり、また、環境未来都市に認定されたり、環境モデル都市に認定されるなどして、非常に野心的な取り組みをここ5~6年進めてきている（図11）。下川町は人口が3600人ぐらいで、森林面積が全体の88パーセントで、林業が非常に大きなウェイトを占めている。資源として森林がたくさんあっても、ただ切って売ってしまえばなくなり、循環型で持続的に利用することを考える必要がある。具体的に、植林をして育てて伐採するというサイクルを60年で行い、3000ヘクタールの森林があると循環型になる。このような持続的な林業体系を30年近くかけて作ってきている。また、ただ材を売るのではなくて、加工して新しい付加価値を付ける。また、いままではあまり見向きもされなかった林地残材や端材を熱エネルギーにして、エネルギーの自給化も図る。そのようなことを統合的に行いながら、少子高齢化という地域の課題にも対応しようとし

「環境未来都市」構想とは、
 21世紀の人類共通の課題である環境や超高齢化対応などに関して、技術・社会経済システム・サービス・ビジネスモデル・まちづくりにおいて、世界に類のない成功事例を創出し、国内外に普及展開する。我が国全体の持続可能な経済社会の発展の実現を目指すもので、下川町、横浜市、北九州市、富山市、柏市などが国から選定されている。

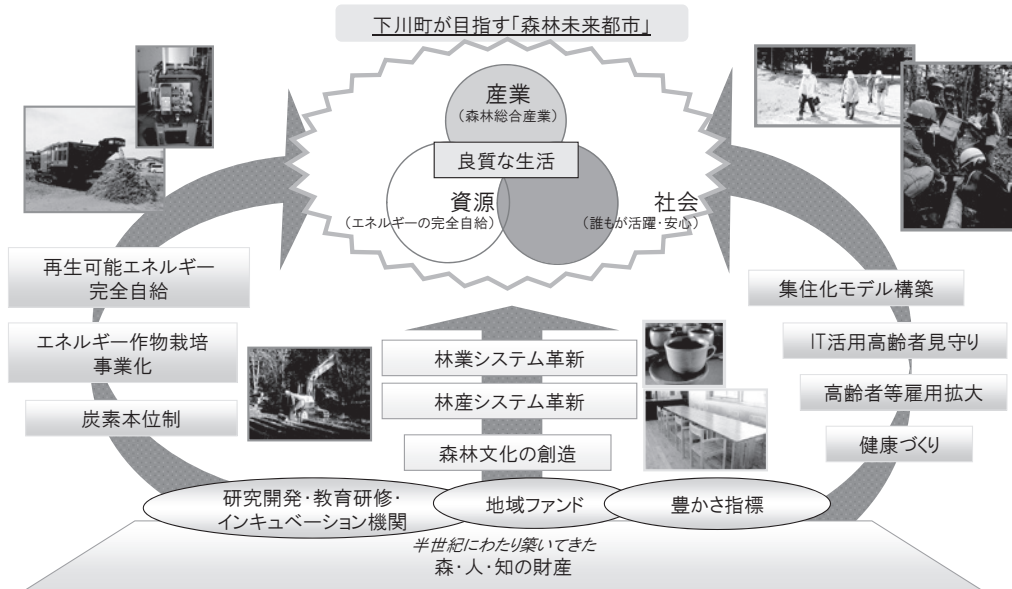


図 11 下川町の環境未来都市・バイオマス産業都市モデル

ている。

ヨーロッパにおける「サトヤマ巧学」に近い事例を次ぎに紹介する。ヨーロッパでは食糧自給はほぼ達成され、農業資源から、自然再生エネルギーを取り出し、さらに物質循環を目指す新たな取り組みが進められている。これは三圃式農業システムを基盤として新たに自然再生エネルギーを畑から得ようとするもので、このような新たな農業システムを複合的農業システムと呼ぶことにする。その参考になるのが、ドイツの小村ユーンデ村の「バイオエネルギー村」やデンマークでの複合的農業と再生可能エネルギーを組み合わせた新たな農業システム（エネルギーファーミング）である。ドイツの小村ユーンデ村は農地面積 1,200ha、人口 770 人の 200 世帯で、うち 9 世帯が酪農を営み、牛を 400 頭ほど飼育している。この構想の中核は、1) バイオガス施設によるコジェネレーションでの電力と熱の供給で、この燃料は村内の休耕地で栽培されるエネルギー作物と家畜の糞尿よりまかなわれ、2) おもに冬場の熱供給を主眼とする木質バイオマスによる地域暖房資源供給で、村内で発生する間伐材や剪定枝よりまかなわれる。また、重要なのは発酵後の発酵液は液肥として畑にかえすことで、有機農業・循環型農業が可能となっている。ドイツでこのシステムを可能にしているのは、「再生可能エネルギー法」で、再生可能エネルギー源（太陽、風力、バイオマス）で発電された電力を、各発電場所の最も近くに位置する電力供給事業所は買い取る義務があることから、電力を高く売ることが出来、このようなプラントで利益を出すことが可能となった。ドイツでは、さらに各種の再生可能エネルギーを各種組み合わせた食糧・エネルギー生産村が構想されている（N. El Bassam

and P. Maegaard, 2004)。日本でも、再生可能エネルギーが注目され、導入も進んでいるが、いずれも規模が大きく、高性能の設備を導入するため地域で閉じるのが困難となっている。「サトヤマ巧学」に基づく、適正規模と適正技術による地域密着型のシステムの導入が求められ、ドイツの小村ユーンデ村の原点を再検討するべきである。

エネルギーファームを「サトヤマ巧学」の事例として紹介したが、ドイツのエネルギーファームは、生物生産能があまり高くない北ヨーロッパの第Ⅳ地域でも成り立つシステムである。アジア半月弧の「サトヤマシステム」では、太陽エネルギーがバイオマスや水循環に転換して高効率エネルギーでシステムが維持されている。したがって、アジア半月弧の「サトヤマシステム」では、他地域に比べると非常に高いエネルギーレベルで系が回転・維持されており、自然機能を利用する「サトヤマ巧学」の適応可能性が、圧倒的に高い。また、水系（粘土鉱物やミネラル成分や水供給）やバイオマス（有機物やバイオ炭）により、土壌肥沃度を高め、生物生産能を一層高めうる可能性も高い。気候変動により、より不安定化する他地域に比べると、アジア半月弧の「サトヤマシステム」では、適正な対応策・緩和策を講じることにより、より高い生物生産能と系の安定化を獲得できる唯一の系といえる。しかし、低湿地や森林の乱開発等により水循環系を破壊すると、他地域の系よりも劇的に不安定化する可能性も高い。

10. 最後に

「里山」は「農用林」を言い換えたもので（森まゆみ、2001）、「サトヤマ」はヤマ、サトおよびその間にある緩衝地帯で（飯沼賢司、2010）、国連教育科学文化機関（UNESCO）の「SATOYAMA イニシアティブ」における「SATOYAMA」は“Socio-ecological production landscapes”（社会生態学的生産ランドスケープ）である。本論であつかう「サトヤマ」は、人間・自然共生という観点に、広くて薄い太陽エネルギーの階層的有効利用システムを加味した「サトヤマシステム」のことで、それを単に「サトヤマ」と呼ぶと混乱をきたすので、「サトヤマシステム」と呼ぶこととした。この「サトヤマシステム」は、典型的に「アジア半月弧」に存在し、地域「サトヤマシステム」レベルからメガ「サトヤマシステム」レベル（ヒマラヤ山脈-チベット高原、ボルネオ島、日本列島といった極めて広域）を階層的・複合的に含む、立体的構造をなす。

アジア半月弧の「サトヤマシステム」は、非常にユニークで長い年月をかけて、構築されてきた持続的生物生産システムであることを述べた。このシステムの駆動源は広くて薄い太陽エネルギーで、特に、水循環システムに特色が有る。アジアモンスーン、ヒマラヤ山脈・チベット高原の障壁や暖流による東アジア・モンスーン、スンダ海棚（浅海や島嶼が多く、海水が熱せられやすく積乱雲が形成されやすい）（図8）における水の巨大供給等のメカニズムが働き、陸地への水供給ポンプ機能が極めて強力である。さらに、山地・山岳に輸送された水は、氷河・雪での貯留や森林による地下浸透により、巨大な水貯留プール（ウォータータワー）に

蓄えられ、徐々に平地に供給される。それらの水は、さらに水利網により、くまなく作物生産生態系に供給されるとともに、粘土鉱物や養分の流亡を防ぐ。アジア半月孤では、もともと若い地殻が多く、地域によっては火山灰の供給、河川からの粘土の供給によって、系全体では極めて肥沃な土壤が発達している。肥沃な土壤での高い生産能が、有機物循環や炭化物（バイオ炭）供給を可能にし、土壤の肥沃度を人為的にさらに高めてきた。このように、地理的好条件に加えて、水循環、肥沃土壤生成、有機物循環を系に取り込み、人間-自然共生を成立させている系を、本論では「サトヤマシステム」と定義した。

また、アジア半月孤には、三つの高密度炭素生態（泥炭、マングローブ・サンゴ、永久凍土）があり、炭素・水の巨大ストックを形成して、地球規模での炭素・水バランスの調整に寄与してきたが、開発や気候変動インパクトにより、ここが崩壊すると膨大な量の温暖化ガスの放出をもたらす、水貯蔵能を低下させ、地球規模での生態・環境崩壊が懸念されている。一方、アジア半月孤の外周部には異常気象を引き起こす3つのスポットが存在し、アジア半月孤に大きな気候変動インパクトをもたらす。さらに、スダグ海棚（図8）では、水の巨大な輸送センターとなっており、地球規模で水と熱の大循環に大きな影響を与えている。したがって、アジア半月孤における「サトヤマシステム」は、地球システムの安定化と不安定化に対して、キーエコシステムでもある。

ヨーロッパでは、伝統的に三圃式農業により、土壤肥沃度を高めて生産性を維持してきたが、それでも、アジア半月孤に比べると生産性は低く、大規模な面積を必要とする。このような生物生産生態系においても、農業生産を行いながらエネルギーファームが可能である。このような生物生産系は、農家（村）単位でなりたち、それらがパッチ状に組み合わせられた、モザイク構造を成していて、各パッチの中で循環型生物生産（人為的循環）をおこなう単純系で、相互連関が弱く、階層的ではなく平面的である。一方、アジア半月孤の「サトヤマシステム」は、水循環を基盤とする系（自然循環）と土壤肥沃度を高める系（人為的循環：粘土・無機栄養捕捉、有機物・バイオ炭の投入）、さらに肥沃な土壤母材の供給や生物多様性により、まれにみる高い生物生産能を長期間維持してきた系である。この「サトヤマシステム」は、広域のアジア半月孤、ヒマラヤ山脈・チベット高原、ボルネオ島、流域、地方、地域でそれぞれ成り立っており、モザイク構造というよりは、階層構造をなして、立体的である。このような階層構造系は、層内・層間が相互作用をする複雑系であり、「サトヤマ巧学」等の人為的循環系や自然再生エネルギー利用系を構築すると、さらに生産性を高め、系の安定化が期待できるが、階層構造系を繋ぐ水循環系が断ち切られると、系の崩壊を促進する可能性も高い。

このアジア半月孤の「サトヤマシステム」を理解するために、革新的評価システムを北海道大学では開発を進めており、早急な実用化が期待されている。一方、アジア半月孤の「サトヤマシステム」を具体的に安定化・持続化するために、広くて薄い太陽エネルギーを利用する技術を「サトヤマ巧学」と呼び、この具体的技術開発を中小企業のコンソーシアムにより達成することも急務である。

参考文献

- N. El Bassam and P. Maegaard: "Integrated renewable energy for rural communities: Planning guidelines, technologies and applications", Elsevier, Amsterdam, The Netherlands, 2004
- B. Groombridge and M. D. Jenkins: "World Atlas of Biodiversity -Earth's living Resources in the 21st Century", University of California Press, Berkeley, Los Angeles and London, 2002
- 飯沼二郎：『農業革命の研究』、農山漁村文化協会、東京、1982
- 飯沼賢司：『環境歴史学の可能性』、水島司編『環境と歴史学 歴史研究の新地平』アジア遊学、勉誠出版社、2010
- フランクリン・ハイラム・キング：『東アジア四千年の永続農業 〈中国・朝鮮・日本〉』（杉本俊朗訳）（上下）、農山漁村文化協会、東京、2009
- Lehmann, J., Gaunt, J., Rondon, M.: Bio-char sequestration in terrestrial ecosystems – a review. *Mitigation and Adaptation Strategies for Global Change*, 11: 403-427, 2006
- 松本健一：『泥の文明』（新潮選書）、新潮社、東京、2006
- 宮崎圭介・井上弦・西村周作・進藤晴夫：累積黒ボク土断面における植物炭化物の垂直分布と腐食組成あるいは炭素貯留との関係、*ペドロジスト*、53、77-85、2009
- 森まゆみ：『森の人 四手井綱英の九十年』、晶文社、2001
- 中静透：第5章モンスーンアジアの生物多様性、井上民二・和田栄太郎編『岩波講座地球環境学 5 生物多様性とその保全』岩波書店、東京、1998
- 大崎満：生物生産生態と地域社会を統合するサトヤマ概念（小宮山宏編『サステナビリティ学への挑戦』、岩波科学ライブラリー 137、岩波書店、東京、2007
- 酒井治孝：『地球学入門 惑星地球と大気・海洋のシステム』、東海大学出版会、神奈川、2007
- K. Takeuchi, R.D. Brown, I. Washitani, A. Tsunekawa: "Satoyama: The Traditional Rural Landscape of Japan", Springer, 2002
- 若月利之・三輪睿太郎：縄文時代の人口密度分布と土壌の肥沃度、*筑波大学先史学・考古学研究*、第4号、31～43、1993