HOKKAIDO UNIVERSITY

Title	「サトヤマ工学」をめざして
Author(s)	佐藤, 寿樹; 辻, 宣行; 田中, 教幸 他
Description	特集 : 都市・農村の地域連携を基礎とした低炭素社会のエコデザイン
Citation	環境技術, 39(9), 530-535
Issue Date	2010-09
Doc URL	https://hdl.handle.net/2115/47909
Rights	環境技術学会より許諾を頂いて転載するものです。
Type	journal article
File Information	kankyogijutsu.pdf

Hokkaido University Collection of Scholarly and Academic Papers : HUSCAP

特集 都市・農村の地域連携を基礎とした低炭素社会のエコデザイン

「サトヤマ工学」をめざして

佐藤寿樹*・辻 宣行*・田中教幸**・大崎 満***

キーワード：里山，持続可能性，物質循環，エネルギー，六次産業

要 旨

里山・里海は，その地域の生業と密接な関係を保ち，自然環境・生態系の循環に即した循環型・持続型社会を構築してきた．持続的低炭素社会の構築が叫ばれているなか，里山・里海での人間と生態系の共生関係が見直されてきている．本稿では，生態系サービスの向上と維持・六次産業化・福利厚生の充実などを要素とし，人間と自然が共生する技術とそれらを評価して最適化する技術を統合した新たな分野として「サトヤマ工学」を提案する．

1．はじめに

地球温暖化防止に向け，化石エネルギー利用の低減が世界的に求められ，2050年までには80%削減が目標とされており，このことは，化石エネルギーからの脱却を経済の基本原則としなければならないことを示している．一方では，化石エネルギーの枯渇と掘削時のエネルギー収支比（EPR：Energy Profit Ratio）の急速な低下により，安価な化石エネルギーを基盤にした経済構造自体が成り立たなくなってきている．特に，農林畜水産業は，機械化のみならず，化学肥料・農薬合成等で多量の化石エネルギーに依存してきた．したがって，安価な石油使用を前提とした，高効率，土地の均一・大規模利用，大量生産，大量輸送，価格破壊といった食料（生物）生産形態はもはや不可能となりつつある．持続可能な食料（生物）生産形態には，脱石油が不可欠であり，一定地域内でできる限り自然再生エネルギーを利用し，物質を循環し，自然の生態サービスを利用する必要がある．このためには，複合的，かつ重層的な生物生産システムが要求され，さらに地域特性に根ざしたモザイク状の土地利用が重要となる．このことは，国連のミレニアム生態系評価においても取り上げられ，「順応的モザイクシナリオ」として，複合的生態系サービスの持続性が重要と予測されている．

このような背景の下，日本の昔ながらの持続的社会として，里山・里海が国内外で注目されている．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[1]．これによると「SATOYAMA」は，生物多様性を維持しながら人間の福利に必要なもの，サービスを継続的に供給するための人間と自然の相互作用によって時間の経過とともに形成されてきた生息・生育地の動的モザイク系であり，人類共通の財産として，さらに進化（深化）させて維持・発展させなければならないとされている．このUNESCO宣言は2010年10月に日本の名古屋で開催される生物多様性条約第10回締約国会議に提出される．

本論では，サトを人間系，ヤマを自然系とした地域における人間－自然共生システムと定義する「サトヤマ」（カタカナ書き）という言葉を使い，この人間－自然共生システムに必要な工学的要素

Aim at Establishment of the "SATOYAMA Engineering"

*北海道大学サステイナビリティ学教育研究センター Toshiki SATO, Nobuyuki TSUJI
**北海道大学大学院環境科学院 Noriyuki TANAKA
***北海道大学大学院農学研究院 Mitsuru OSAKI

とその組み合わせをサトヤマ工学と呼ぶこととし，サトヤマ工学の概念と展望について述べる．

2．里山の概念と国際化

里山（さとやま）という言葉と概念を確立した最初の人物は四手井綱英（しでいつなひで）先生であるとされている[2]．しかしながら，奈良県の吉野山地では昔から田舎（一般に人口や家屋が少ない地域と定義される．）を「さとやま」，「うちやま」，「そとやま」，「がく」と呼んでいたとの記述も報告されている．18世紀に「里山」という言葉は古文書に登場しているとの報告もあり，その言葉の起源は定かではない．また，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[3]．奈良県の例では里山は集落と田畑，その周辺の雑木林をさすとするのが通例である．「うちやま」は薪炭林，桑林を指し，山菜やキノコの採集に利用された共有林とされる．「そとやま」は狩猟や材木林として利用され，それ以外の原生林を「がく」と呼ぶ．

江戸時代から明治にかけての里山は今日，我々がイメージする緑豊かな人間と自然との共生系とは異なり，過剰な利用によってはげ山に近いアカマツ林を主体とする林に囲まれた群落であり，現在の里山（さとやま）の様相とは異なっていた．継続的に維持され，人間の生活に必要な物とサービスを提供し続けた里山（さとやま）であるが，人間と自然との理想的な共生系のイメージからは異なるものであったようである．いずれにしても，里山（さとやま）的な人間の生活空間と周辺地域を人里の接した山，あるいは地域で人間の影響を受けた生態系が存在する状態と定義すると，里海（さとうみ）も包括されなければならない．このような仕組みは厳しい空間制約や資源制約の下，持続的な生活環境を保持しなければならないなかで試行錯誤を重ね，人間と周辺生態系の持続的な共生関係を維持できる仕組みが築かれてきたと考えることができる．つまり，持続性を確保した里山（さとやま）や里海（さとうみ）のみが厳しい自然の選択にさらされて生き残ったのである．現在まで存続している里山（さとやま）や里海（さとうみ）には累々と先祖代々受け継がれた伝統的な経験知が存在するはずである．

最近になって海外においても同様な人間－生態系共生システムがあることが分かってきて，里山（さとやま）を海外にも広めていこうとする動きが活発化している．この過程で，サトヤマ＝“SATOYAMA”を社会生態学的生産ランドスケープ（Socio - ecological production landscape）と位置づけることになり，これより多様な世界の事例がサトヤマとして認識することができるようになった．さらに，世界的にサトヤマ的な地域生態系の管理システムに関心が寄せられ，日本以外の地域でもサトヤマ的な地域管理システムの研究が行われてきている．このなかで，日本のサトヤマに非常に近い地域形態であるフィリピンのムヨン(Muyong)は，日本の研究者によって生態学的，社会学的調査が詳細に進んでいる[4, 5]．中国においても福建省永定県に客家（はっか）と呼ばれる場所があり，100世帯以上が生活を共にする円形の土楼集合住宅を中心として，田畑，茶畑，雑木林がモザイク状に配する調和型ランドスケープが報告されている．アフリカのザンビアやマラウイの伝統的な焼畑耕作地であるチテメネ(Chitemene）やスペインの林と草原のモザイク地での豚の放牧などがあり，多様な社会生態学的生産ランドスケープがあることが知られるようになってきている．特にこのような場所は，人間が関与することによって，より生産性が高く，より多様な生物が生息できる環境を形成していることが明らかとなり，生物多様性の維持が世界的な問題として取り上げられるなかで，サトヤマの重要性が多様性の確保という面でもクローズアップされている．

3．サトヤマ工学の概念

地域の持続的社会構築のためには，再生可能エネルギー生産や物質循環に関する工学的技術が要求される．しかし，これまで，商業的(建設)利益のみを考えた単独の巨大プラントが設計されるのみで，循環型地域モデル設計のためにはほとんど役に立たなかった．そこで，地域のサイズと特性に合った，再生可能エネルギー生産や物質循環といったことが最適に複合化した工学が必要となる．

循環型地域モデルの設計は，モザイク型土地利

用や各種一次産業および都市・農村と自然の連携と複合化により，新しい地域自律モデルを提示するものである．一方，これらを実現化するためには，循環型地域モデルに合った，具体的な再生可能エネルギー生産システムや，物質循環システムを組む必要がある．そこで，人（サト）と自然（ヤマ）の共生を支える，新たな工学が必要になる（カタカナ書きの「サトヤマ」とは，サトを人間系，ヤマを自然系とした地域における人間－自然共生システムの意味とする．したがって，「サトヤマ」には自然生態系を含む里山・里海・里地・農地と人・産業とを含有する）．これをサトヤマ工学と呼ぶこととする．

サトヤマ工学の基本は，人と自然との共生系の確立にある．つまり，化石燃料を大量に消費して自然を制御しようとしたこれまでの工学から自然の機能を一部利用した人－自然共生工学への転換を意味する．このサトヤマ工学では，まず，自然再生エネルギーの利用と物質循環システムの確立が基盤となる．つまり，広く薄く分布する自然エネルギーと物質を利用するために，これまでの集中的・高機能的・高効率的・完全制御的現代工学とは対極にある技術の復興・開発が重要となる．このように，広く薄く分布する自然エネルギー・物質を利用するシステム工学をサトヤマ工学と言い換えることもできる．この広く薄く分布するエネルギーと物質の利用に加え，人と自然といった要素もシステムの基本要素として組み込まれるために，より曖昧で柔軟性があり，複雑な系からなるロー・テクノロジー（伝統的技術など）の体系化によってこのサトヤマ工学は成り立つ．サトヤマ工学は，エネルギーと物質循環を基盤とする技術分野（人間生活，一次産業，二次産業）においてはロー・テクノロジーを基盤とするが，それらをシステム化する三次産業・六次産業とその評価指標においては，より高度の技術も組み込む必要があると考える（**図1**）．

以上のように，サトヤマ工学は人－自然系を持続化させるために，広く薄く分布する自然エネルギー・物質を基盤とする技術分野においては伝統的技術などのロー・テクノロジーの見直しを図るが，それは昔に戻ることではなく，地域資源の身の丈をベースにしつつ，最先端のシステム化技術を付加することにより新たな自然共生系システム工学として確立することを目指すものである．

4．数理的表現の試行と評価技術例

サトヤマは，人間の活動（H），生態系サービスなどの自然要素（N），生産（P），そして温暖化や経済などの外的要素（X）が主構成要素と表記されると考えると（**図2**），各要素は，それ自身を含む他の要素の関数として式(1)～(4)と表記できる．さらに，サトヤマの持続性は，人間の活動（H）による総合的な最適化（式(5)）により評価できるとする．また，要素技術fiは，**表1**のよ

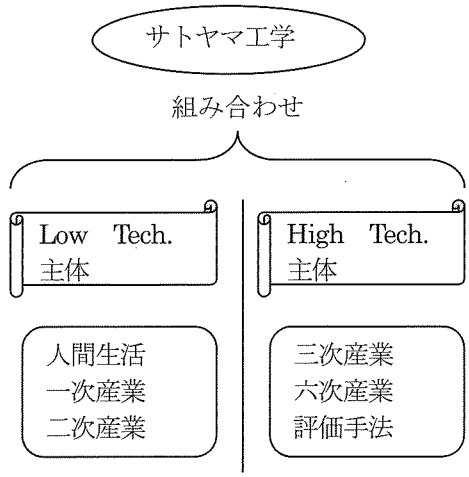


図1 サトヤマ工学の概念

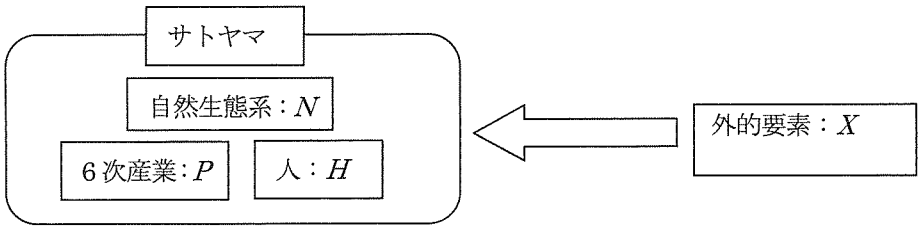


図2 サトヤマの要素

表1 サトヤマ工学の技術例

技術			具体例
要素技術 f	生活技術 f_1		職業研修，就農支援，エコハウス，地域熱供給，ソーシャルビジネス，オンディマンドバス，ジェロントロジー，情報システム活用遠隔医療，地域通貨，移動雑貨店
	保全技術 f_2		循環林業，水利，保全林，環境修復
	生産技術 f_3	一次	循環型農業，有機農業，バイオチャー，低負荷型アクアカルチャー，植物工場，不耕起栽培，スマート農業
		二次	自然再生エネルギー，リサイクル，3 R，バイオプラスチック，ホースロギング，地産地消，スローフード
		三次	インターネットによるグローバルマーケット，認証制度（クレジット，FSC，トレーサビリティ），センシング
		六次	マルシェ，道の駅，一村多品，観光農園，オーナーシップ，遊船，ネイチャーセラピー，メディカルツーリズム，山漁村留学
最適化指標 F	環境負荷評価		LCA，EPR，EF，リサイクル率
	生態系評価		生物多様性，生態系サービス
	持続性評価		エネルギー永続地帯，食料・エネルギーポテンシャル

3R：Reduce/Reuse/Recycle, FSC：Forest Stewardship Council, LCA：Life Cycle Assessment, EPR：Energy Profit Ratio, EF：Ecological Foot Print

うな具体的技術をどのように利用するかというシナリオ設定により選択でき，各シナリオ設定の評価指標Jの比較により，地域のサイズと特性に合った持続的要素技術f_iが抽出される．このように，地域適合型の要素技術と評価手法を組み合わせたシステム工学をサトヤマ工学と表現できる．

$$\dot{H} = f_1\ (H, N, P, X) \tag{1}$$

$$\dot{N} = f_2\ (H, N, P, X) \tag{2}$$

$$\dot{P} = f_3\ (H, N, P, X) \tag{3}$$

$$\dot{X} = f_4\ (H, N, P, X) \tag{4}$$

$$J = \underset{H}{\mathrm{Max\ or\ Min}}\ F\ (H, N, P, X) \tag{5}$$

H：人間の活動
N：自然
P：生産
X：外的要素
J：持続性評価の最適値

表1から，地域の食料・エネルギー自給ポテンシャルについて評価した事例と木質ペレット燃料のEPRを評価した事例を紹介する．

4.1 食料・エネルギー自給ポテンシャル分析

地域の特色に従った食料・エネルギーの生産消費バランスを考えることが重要である．ここで示すデータは，北海道富良野市の農畜林業をモデルとして解析したものである[6]．複合的な物質循環を考慮すると，肥料の自給構造の考え方により農畜林業の土地利用構造が変化し，それに伴い食料，エネルギー，飼料の自給率が変化する（図3）．これらは，極端なシナリオ，たとえばエネルギー，食料，飼料を100%以上自給するといったシナリオに基づいているので現実的ではないが，将来のエネルギー危機にそれぞれの地域の特性を生かしていかに対応しうるかの考察，理想的持続的農業の設計，各種のシナリオの検討の際に極めて有効である．

4.2 EPR評価

エネルギーを考えるとき，その量とともに質を考えることが重要である．EPRは，LCA(Life

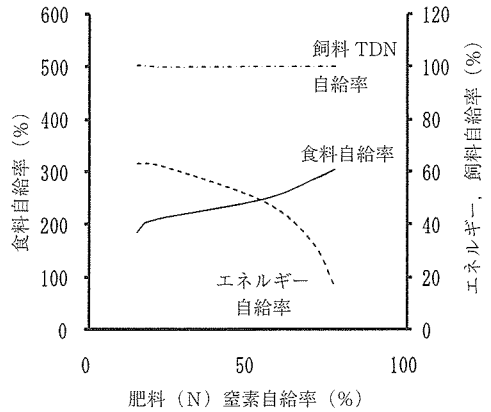


図3 食料・エネルギー自給率分析例

Cycle Assessment)の一つと位置づけられ，その燃料製造に費やしたエネルギーとその燃料が保有しているエネルギーポテンシャルの比（EPR＝エネルギーポテンシャル／製造のために費やしたエネルギー）で求められる．**表2**は，日本の豊富な森林資源に注目し，木質ペレット製造のEPRを評価した例である．同時に他のエネルギー源製造に関するEPRを比較のため示している．木質ペレット製造のEPRは4～5程度と考えられ，風力発電や太陽光発電に匹敵するEPR値が得られている．このように，エネルギー源をEPR評価し，その持続性を評価することは，重要である．

5．サトヤマの持続性とサトヤマ工学の展開

サトヤマの持続性はそれ自身で担保されているわけではなくて，長年培われてきた伝統や習慣に持続性を担保する妥当性があったと解釈することができる．それらの持続性への貢献度の度合を評価することが望ましいが，特定の地域の持続性の評価方法は確立されているとは言い難い．国レベルでの持続性評価の方法としては環境，社会，経済，個人の4つの基軸を置き，それぞれの基軸に容量・資源，世代間公正，地域間公正，多様性，意思と繋がりの5つの価値概念に相当する項目を挙げて，それぞれについて段階評価をして，単純平均して算定する方法が一般に用いられている．国連でも持続性に関連する指標群についての調査研究を行い48項目における指標を勧告している[10]．

これに加えてUNESCO宣言では生物多様性の維持機能に関する指摘があり，サトヤマの生物多様性の評価法についてもこれからの問題として検討が必要である．生物多様性の評価は簡単なものではないが，昨今の生物多様性オフセットの導入による多様性保全のための金融資金メカニズムの開発がささやかれているなかで，サトヤマの生物多様性評価は，避けては通れない重要な項目となりつつある．

現在のところ，日本においては生物多様性の評価として代表的なものは環境省による生物多様性総合評価である．これは平成20年度に評価委員会が立ち上がり，評価結果がすでに公表されている．この評価法では主な対象地域区分として「森林生態系」，「農地生態系」，「都市生態系」，「陸水生態系」，「沿岸・海洋生態系」，「島嶼生態系」に分けてそれぞれの区分内を30個の指標で多様性の損失の要因と状態を評価している．この評価のなかで多様性の損失の主な要因としてサトヤマの利用・管理の縮小が挙げられており，この報告書の手法が多様性に関するサトヤマの評価法の確立の土台として利用できそうである[11]．

サトヤマ工学は，これらの動向と連動し，地域に根ざした持続性技術分野として展開したい．今後は特定のサトヤマに即適応可能な汎用性の高い持続性指標群による持続性評価法の開発も望まれる．これを我々は，サトヤマ工学の一部となる「評」システムとして，今後確立していきたいと考えている．

表2　EPR評価例

種　類	地　域	EPR値
木質ペレット[7]	D市	3.7
	A町	4.9
ゴミ固形化燃料ペレットRDF[8]	F市	7.8
石油火力発電[9]	－	7.9
中水力発電[9]	－	15.3
風力発電[9]	－	3.9
太陽光発電[9]	－	5.1

謝辞：本研究は，日本環境省の地球環境研究総合推進費（Hc-084，E-0804）「都市・農村の地域連携を基礎とした低炭素社会のエコデザイン」の支援により実施された．

参考文献

1）"SATOYAMA イニシアティブ"，（オンライン），入手先 ＜ http://satoyama-initiative.org/jp/wp-content/uploads/353/Paris-Declaration-JP-26042010-.pdf＞，（参照日2010-06-30）．
2）武内和彦，鷲谷いづみ，恒川篤史：里山の環境学，東京大学出版会，2001．
3）有岡利幸：里山Ⅰ，法政大学出版局，2004．
4）Hayama, Atsuko：Relationship between forest and people in Ifugao rice terraces, In Inoue, M. ed., Deforestation and forest conservation in Asia, Chuohoki Publishers, 2003.
5）Nozawa, C., Malingan, M., Plantilla, A., and Ong, J.：Evolving culture, evolving landscapes: The Philippine rice terraces, In Amend T., Brown J., Kothari A., Phillips A. and Stolton S. (eds.), Protected Landscapes and Agrobiodiversity Values, Volume 1 in the series, Protected Landscapes and Seascapes, IUCN & GTZ,

Kasparek Verlag, Heidelberg., 71-93, 2008.
6）佐藤寿樹，辻宣行，田中教幸，大崎満；農畜林業バイオマスを基礎とした食料・エネルギー自給ポテンシャル解析，システム農学，26，(1)，17-25，2010.
7）佐藤寿樹，宮崎稔也，辻宣行；木質ペレットのエネルギー収支比評価，「北海道大学サステイナビリティ・ガバナンス・プロジェクト（SGP）最終報告書　地域に芽吹くサステイナビリティの種－北海道の未来像を描く－」，82-94，2010.
8）北海道大学サステイナビリティ・ガバナンス・プロジェクト（SGP）・もったいない学会 EPR 部会；北海道バイオマス検討会2009年度報告書「バイオマスのエネルギー収支比（EPR）分析と道内の取り組み事例，2010.
9）天野治；石油ピーク後のエネルギー－ EPR（エネルギー収支比）から資源の有効利用を考える－，愛智出版，2008.
10）United Nations; Indicators for Monitoring the Millennium Development Goals, p.106, ST/ESA/STAT/SER.F/95,2003.
11）"環境省生物多様性総合評価報告書"，(オンライン)，入手先<http://www.biodic.go.jp/biodiversity/jbo/jbo/reports/summary.pdf >，(参照日2010-06-30).