原著論文

環境回復の観点によるバイオ燃料生産の世代間倫理からの考察

井山佳美¹⁾・野口良造^{*2)}・森田祐介³⁾

- 1) 筑波大学大学院生命環境科学研究科 〒305-8572 茨城県つくば市天王台 1-1-1
2) 筑波大学生命環境系 〒305-8572 茨城県つくば市天王台 1-1-1
3) 筑波大学生命環境学群生物資源学類 〒305-8572 茨城県つくば市天王台 1-1-1

要旨

持続的な社会発展を前提としたバイオ燃料生産について、バイオ燃料生産の背景を整理し、人間中心主義と自然共生主義の観点、および三条件（化石燃料の枯渇、CO₂ 排出による地球温暖化、エネルギーセキュリティ）から、世代間倫理の成立の有無の検討を行うとともに、農地や森林の環境回復の観点から、時間軸における世代間倫理の成立について考察を行った。その結果、三条件のうち一つの条件でも成立し、かつ人間中心主義の立場をとる場合には、バイオ燃料生産の世代間倫理が不成立となり、それ以外では世代間倫理が成立した。また、人間の労働年齢が15歳から65歳とすると、農地利用のバイオ燃料作物生産において、世代間倫理の成立が弱いことが示された。さらに、バイオマス一次生産量の最も多い熱帯雨林地帯で、農地を放棄した場合に発生する二次林のバイオマスの文献データの調査結果から、50年では二次林のバイオマスが自然林と同程度に回復されないため、約50年以降の世代に対して世代間倫理が成立することが明らかとなった。

キーワード

人間中心主義, バイオ燃料, バイオマス, 自然共生主義, 世代間倫理

はじめに

再生可能エネルギーの導入の主な要因は、エネルギー需要の高まりによる化石燃料の枯渇 (Colin et al. 1996), CO₂ 排出による地球温暖化 (Dhillon et al. 2013), およびエネルギーセキュリティ (経済産業省資源エネルギー庁 2010) への対策が挙げられる。再生可能エネルギーとしてのバイオ燃料への期待が高まる中で、バイオ燃料作物の生産のための農地面積の拡大、食料生産との競合や食料価格の高騰、森林環境の破壊など、現在だけでなく将来への影響が懸念されている (農林水産政策研究所 2011)。したがって、バイオ燃料生産が、現在世代と将来世代、現在利用している農地や森林の環境と大きく関わりを持つことから、今後のバイオ燃料生産の是非を議論するためには、バイオ燃料生産の倫理的な観点からの考察が必要不可欠である。これまでに、バイオ燃料作物と食料作物との生産競合に関する倫理的課題が報告されている (Thompson 2008,

Gomiero et al. 2010, Gamborg et al. 2012)。しかし、バイオ燃料生産に対して、現在世代が将来世代の生存条件に対して保証義務を負うという世代間倫理 (加藤 1991, Jonas 2000) の成立やその考察については、十分な検討がなされていないのが現状である。

本研究では、持続的な社会発展を前提としたバイオ燃料生産について、バイオ燃料生産の背景を整理し、世代間倫理の成立の有無の検討を行うとともに、農地環境や森林環境の回復の観点から、世代間倫理の成立について考察を行った。

研究手法

対立軸による世代間倫理の成立・不成立

バイオ燃料生産の継続や中止を含めた幅広い視点からの倫理的考察をおこなうためには、現在世代の立場だけでなく、農地環境や森林環境がバイオ燃料生産用農地に転用された場合における将来世代への影響を含めた視点が求められる。そこで、バイオ燃料生産における世代間倫理について議論するために二つの軸を用いた。一つ目は、人間にとっ

* Corresponding Author
E-mail: noguchi.ryocho.gm@u.tsukuba.ac.jp

てより快適で便利な社会を望む人間中心主義と、自然を擬人化して自然自身の倫理的権利を認め豊かな自然環境の継続を望む自然共生主義（Nash 1989）による軸、二つ目は、バイオ燃料生産における根拠の成立・不成立による軸である。これらの二つの軸で構成される1象限から4象限の四つの分類において、バイオ燃料生産に関する世代間倫理の成立・不成立と、バイオ燃料生産の継続性について考察した。

世代間倫理と人間中心主義と自然共生主義

倫理とは、「人倫の道。社会生活で人の守るべき道理。人が行動する際、規範となるもの（小学館国語辞典編集 2006）」であり、また「倫」の意味は「人のふみ守るべき道（鎌田ら 2010）」となっている。したがって、倫理の対象とは、責任を負うべき人を含む対象のことであり、倫理は人と人との関わりによって成立する。また、倫理の基本となる黄金律として、「自分がして欲しいと思うことを他人に行い、自分がしてほしくないことは他人に行わない」ことが挙げられる。一般に、人が倫理的行動をとろうとする時、同世代に存在している他人のことをお互いに考えて行動する。よって、倫理的決定には、自分と他人との関わりとなる相互性が必ず付随するとともに、同世代の常識範囲で倫理的決定をおこなう点において、自分と他人が同じ時間を共有する共時的決定になる、とされている（加藤 1991）。しかし、本研究で対象とする世代間倫理とは、世代を超えた倫理を対象としている。また、将来世代は過去世代に対して倫理的決定をおこなうことができないことから、上記の相互性や共時的決定が担保されない特徴を有している（加藤 1991, Jonas 2000）。たとえば、現代世代が資源を過剰な消費によって枯渇させた場合、現代世代は加害者となり、資源を利用できない将来世代は被害者となる。このように、世代間倫理は環境問題などに付随する考え方であり、持続可能な社会（ブルントラント委員会 1987）の実現のために、議論されるべき考え方であるとされている（加藤 1991）。

一方で、人間中心主義における倫理の対象は、個人、所属、国から全人類までの範囲となる。また、自然共生主義における倫理の対象は、個人から、動植物の生態系、生物圏にまでおよび、人間中心主義の倫理対象を含んだ地球全体の環境となる。このように、倫理の対象が異なることから、人間中心主義および自然共生主義が目指す目標もそれぞれ異なる。人間中心主義では人間にとってより快適で便利な社会を将来世代に残すことが目標となり、自然共生主義は現在の自然環境を将来世代に残すことが目標となる（Nash 1989）。そこで、バイオ燃料生産の是非は、人間中心主義と自然共生主義との異なる立場から議論がなされていることから、人間中心主義と自然共生主義の考え方を、バイオ燃料生産における世代間倫理を議論するための一つの軸とした。

バイオ燃料導入の背景となる三条件

本研究では、バイオ燃料導入の主な背景を、エネルギー需要の高まりによる化石燃料の枯渇、CO₂ 排出による地球温暖化、およびエネルギーセキュリティ対策とし、それらに対する議論を整理することとした。

化石燃料の枯渇：世界で使用されている一次エネルギーの約9割が化石燃料であり、その約3.5割が石油由来のものである（BP 2012a）。世界のエネルギー需要が高まる一方で、化石燃料の枯渇が問題となり、化石燃料の可採年数は54.2年（BP 2012a）と予想されている。しかし、新たな油田の発見や開発が進み、世界の石油埋蔵量は増加しているとの報告もある（前田 2012, 秋山ら 2011）。また、石油資源の発掘には技術力が関係し、技術力向上のために資金を投入すれば長期的にみて石油が枯渇しないという意見もある（井澤 2012）。現在では、天然ガスの生産量は1970年と比較すると、2010年時点でおおよそ三倍となっている（BP 2012b）。さらに、風力発電や太陽光発電などの再生可能エネルギーの普及が拡大すれば、石油や天然ガスの過度な消費が抑えられ、化石燃料の枯渇への対応に余裕が生じる可能性がある。

CO₂ 排出による地球温暖化：IPCCによると、化石燃料の使用により大気中のCO₂ 濃度は上昇し、21世紀末の平均気温は1.1℃から6.4℃の間で上昇すると予測されている（気象庁 2007）。2006年3月に、新たに閣議決定されたバイオマス・ニッポン総合戦略では、京都議定書発効による温室効果ガス排出削減目標達成のためには、輸送用燃料としてのバイオ燃料の導入のための道筋を描く必要性が述べられている（農林水産省 2006）。一方で、CO₂ の上昇と地球温暖化の関係について、懐疑的な意見をもつ研究者も少なくない（丸山 2008, 赤祖父 2009, 加藤 1991）。人為的なCO₂ の排出が温暖化の原因でなかった場合、さらに、地球温暖化の問題そのものが存在しなかった場合、CO₂ 排出量削減の必要性はなくなり、カーボンニュートラルであるとされるバイオ燃料を導入する前提が崩れる。

エネルギーセキュリティ：1973年と1979年の二度のオイルショック以降、日本のエネルギー政策は、新・国家エネルギー戦略などを通じて、エネルギーセキュリティの向上を大きな柱として進められてきた（経済産業省 2006）。エネルギーセキュリティの向上のためには、エネルギー自給率の向上やエネルギー源の多様化が求められる。よって、国内のバイオマスからバイオ燃料を生産することで、エネルギーセキュリティの向上が見込まれるとされている（中村 2009）。一方で、石油の市場寡占を表すハーフィンダール指数は、寡占状態を表す1,000以上を目安にすると、1950年代が3,000以上となっていた。しかし、現在では500から600程度になっており、多くのルートから石油を安定的に入手できるとされている（石井 2009, 2011）。たとえば、大部分の石油を海外に依存している日本において、世界的な有事の際に一時的に石油確保が難しくなることが想定される。しかし、世界的な有事は局所的な有事に比べ

て発生頻度が極端に低い。よって、有事が局所的であり、国家が経済的に孤立していない場合、国家は十分な石油を購入できるため、エネルギーセキュリティは、バイオ燃料生産の前提とはならない可能性がある。

以上のことから、バイオ燃料生産を行う大きな理由は、現在世代の人間の豊かな暮らしを維持し、次世代の子孫に対して豊かな社会を残すためである。そのためには、化石燃料の枯渇、CO₂ 排出による地球温暖化、およびエネルギーセキュリティへの対応が必要である。しかし、これらは前述の通り、バイオ燃料生産を行うための絶対的な根拠にならない可能性が残されているため、根拠として成立しない場合も想定しなければならない。そこで、化石燃料の枯渇、CO₂ 排出による地球温暖化、およびエネルギーセキュリティをバイオ燃料生産の三条件とし、三条件の成立・不成立によって、バイオ燃料生産の継続や中止を議論できる対立軸を設定した。つまり、三条件のうち一つの条件でも成立するときは、バイオ燃料生産が開始、または続行される根拠を持つとした。三条件の全てが不成立となるときは、バイオ燃料生産の根拠を失うこととなり、バイオ燃料生産が中止されるとした。三条件のそれぞれが不成立となるのは、条件となる課題そのものがない、またはバイオ燃料より優れた代替エネルギーの登場やその他の事象により、条件となる課題が解決してしまう場合を想定した。ただし、本研究では技術革新による経済性の飛躍的な向上から、バイオ燃料の生産が開始・続行される場合は想定しなかった。

バイオマスの観点からの環境の回復

バイオ燃料作物の生産のために開拓された森林環境において、バイオ燃料作物の生産中止後、元の植生に回復するために必要な時間は、周辺に存在する植物群の種類や組成、土壌の深さ、その地域の気候や降雨などによって変化する。再現の容易さと群落としての広がりを用いて評価した例も存在するが、その土地の遷移がどの程度の速さであるかを知るためには、詳細な調査が必要となる（大沢 2001, 田川 1973）。人間が耕作放棄地を森林資源として林地へと回復させることは、生態系全体を回復することに比べれば比較的容易であると考えられる。しかしながら、一般に動物が棲むには適さず、多様な種類の植物も繁栄しにくい林地は、回復期間が数十年～数百年かかるといわれる（環境省 2011）。一方で、複雑な生態系を持つ自然環境は 700 年以上もの時間をかけて形成されたという報告がある（Kricher 1992）。

このように、森林環境の回復に関してさまざまな意見があるが、本研究では、バイオ燃料生産用農地を放棄した場合に発生する二次林のバイオマスを、自然林のバイオマスと比較することで、農地環境や森林環境の回復の指標とした。ここでのバイオマスとは、生物体量を指し、一定期間内にどれだけ生物体量を構成する炭素量が、森林環境に固定されたかという考え方を用いた。

結果と考察

対立軸による世代間倫理の成立と不成立

図 1 に三条件（化石燃料の枯渇、CO₂ 排出による地球温暖化、エネルギーセキュリティ）の成立の有無と、自然共生主義と人間中心主義における、世代間倫理の成立を示す。

三条件のどれか一つでも成立する場合においては、バイオ燃料生産を行う前提が成立することとなり、バイオ燃料生産が開始または継続される。このとき、人間中心主義では、人口の減少による食料生産量の減少が生じない限り、食料生産とバイオ燃料作物の競合を防ぐために、新たな農地開発が行われる。農地開発によって生かされた現在世代の存在があって、はじめて将来世代が発生することから、人間中心主義では現在世代の生存が優先されると考えられる。したがって、人間中心主義の観点から、自然の存続よりも人間の利益が重要視される。一方で、自然共生主義では、自然環境を破壊してまでバイオ燃料を生産することができないので、現在の限りある農地を、食料生産とともに、バイオ燃料作物の生産に活用することになる。したがって、食料生産とバイオ燃料作物生産の競合が発生するとともに、先進国のように国力のある国が自国の自然を保護し、途上国のように国力のない国が自国の自然を破壊して、バイオ燃料作物を生産する場合が想定される。その場合、先進国と途上国間で農地獲得競争が発生することになり、地域間倫理だけでなく地球全体でのバイオ燃料生産に関する世代間倫理が成立する。

三条件がいずれも成立しない場合においては、バイオ燃料生産が中止となる。このとき、人間中心主義では、人口の増加などによる食料生産量の増産の必要性から、積極的に食料を生産する場合には、自然環境の回復が遅れても問題にならない。本来ならば、人間中心主義において食料増産が必要となれば、三条件の成立・不成立にかかわらず食料生産が行われるが、本研究では現代世代のバイオ燃料生産の継続・中止による将来世代への影響のみに着目し、食料増産がエネルギー確保よりも優先される場合は想定しなかった。一方で、バイオ燃料生産用農地を食料生産用農地へと変換する期間、すなわち、食料が獲得できない期間に世代間倫理が成立した。自然共生主義では、バイオ燃料生産のために破壊された森林等の自然環境が、農地開発以前の状態に回復するための期間に世代間倫理が成立した。

以上の結果から、図 1 のように、三条件の成立の有無の軸と自然共生主義と人間中心主義の軸によって四つに分類されたなかで、三条件のうち一つの条件でも成立しかつ人間中心主義の立場をとる場合には、バイオ燃料生産の世代間倫理の不成立となるが、それ以外では世代間倫理が成立した。

環境回復の条件

バイオ燃料生産の世代間倫理において、三条件の全てが不成立となり、バイオ燃料の生産が中止された場合、将来

三条件: 石油資源の枯渇, CO₂排出による地球温暖化, エネルギーセキュリティ

図1 三条件（化石燃料の枯渇, CO₂排出による地球温暖化, エネルギーセキュリティ）の成立の有無と, 自然共生主義と人間中心主義での分類における世代間倫理の成立

図2 自然環境と農地の回復時間の設定と世代間倫理発生の方

世代への負担をできるだけ少なくすることが優先課題となる。したがって, バイオ燃料生産に使用された農地環境や自然環境を, いかに短期間かつ低コストでもとの状態に回復できるかが重要となる。

世界の平均寿命は約 70 歳 (WHO 2013), 世界の平均出産年齢は 27.8 歳 (OECD 2013) である。また, 人間の労働年齢が 15 歳から 65 歳であることから, 図 2 に示されるよ

うに, 経過年数約 50 年は, 世代間倫理において現在世代が自ら責任をとれる最大の時間範囲として考えられる。世代間倫理の観点から, バイオ燃料作物の生産の中止が妥当であると判断され, バイオ燃料作物の生産によって, 本来の役割を変更された農地や森林の環境の回復期間が約 50 年を超えた場合, 現在世代の行為が将来世代へ影響を与えることになるため, 世代間倫理が成立する。さらに約 100

三条件: 石油資源の枯渇, CO₂排出による地球温暖化, エネルギーセキュリティ

図3 自然環境と農地の回復時間を考慮した世代間倫理の成立の程度

年後になっても環境が回復しなかった場合、現在世代のほとんどの人間が存在しなくなり、現在世代の負の遺産が将来世代へと渡されることになる。したがって、この範囲を超える回復期間を必要とする場合には、確実に世代間倫理が成立すると考えられる。

バイオ燃料生産に使用された農地環境の回復においては、バイオ燃料作物生産をおこなっていた農地をもとの食料生産へ回復させる期間は、転作に必要となる期間と一致する。転作にかかる期間は、資金や技術力、また作業にあたる人数によって変動するが、様々な転作の事例から、およそ数か月～数年で回復できると考えられる（全国農業会議所 2010）。一方で、世代間倫理の成立が明らかになった時点で、世代間倫理の課題を解決するためにバイオ燃料作物生産を中止し、その後の経過年数が1年から数年の場合に農地環境の回復が行われた場合は、現在世代が責任をとることができ、今回用いた50年後の世代に対しては世代間倫理の成立の可能性はないと考えられる。また、50年後の世代ではなく数年後の世代への影響という観点から考えても、農地利用のバイオ燃料作物生産において世代間倫理は成立しにくいと考えられる（図2）。

以上の結果から、バイオ燃料生産が中止されたとき、目指す回復の状態と、その回復期間によって世代間倫理の成立に違いが生じることが示された（図3）。つまり、自然環境や農地の回復期間が、現在世代が責任をとることのできる時間範囲内の場合、バイオ燃料生産によって発生した負の影響を受けるのは現在世代であり、現在世代がリスクを負っても生産を続けるかどうか決めることができるため、世代間倫理の成立が弱くなる。この場合、負の影響を

与える側と受ける側が共時的決定であり、相互的な関係があることから通常の倫理問題に近づくことになる。しかし、現在世代のバイオ燃料生産によって、現在世代が責任をとれる時間範囲において自然環境が回復しない場合には、現在世代が将来世代の選択肢を保証しなければならないという世代間倫理の原則により、世代間倫理の成立が強くなると考えられる。

二次林のバイオマスの回復期間

主に食料を生産するための農地を一般農地とすると、一般農地とバイオ燃料用作物生産において使用される農地とでは、作物だけでなく農薬や肥料の種類などが異なるため、耕作放棄後の二次林の成長も異なることが予想される。しかしながら、トウモロコシや大豆、サトウキビのように、食料用作物をバイオ燃料用作物に利用することができることから、一般農地およびバイオ燃料用作物生産用農地の土壌に、一義的な明確な差異をみいだすことが難しいと考えられる。

そこで、一般農地の放棄農地から発生する二次林のデータを用いて、バイオ燃料用作物生産において使用された放棄農地における二次林の回復度合いを予想することは有効であると仮定した。そこで、バイオマス一次生産量の最も多い熱帯雨林地帯に着目し、熱帯雨林を農地にし、その農地を放棄した場合に発生する二次林のバイオマスについて、Silverら（2000）の文献をベースに関連する論文を参考にして表1を作成し、さらに、図4のように時間軸に対するバイオマスをプロットした。また、自然林におけるバイオマスの基準を、マレーシアの熱帯雨林における地上お

よび地下バイオマスを 536 t/ha および 95.9 t/ha (Niiyama 2010) とした。マレーシアの年間降雨量は 2,500 mm/year であり、一般的な熱帯雨林と同程度の降雨量であるためである。図 5 に熱帯雨林の二次林における地上バイオマスの経時変化を示す。図 5 に示されるように、二次林のバイオマスが自然林のそれと同程度の場合、環境が回復されるとみなし、人間中心主義の考え方からは、世代間倫理の問題が不成立と仮定した。

以上の結果から、世代間倫理が成立する目安である 50

図 4 二次林における地上バイオマスの経年変化

年の時点で、二次林のバイオマスは自然林のバイオマスである 536 t/ha よりも 49%低い値である 274 t/ha (Hughes et al. 1999) を示した。ここで Hughes ら (1999) は、幹および葉の乾燥重量からバイオマスを求めている。また、60 年の時点 (Saldarriaga et al. 1988) においても、自然林のバイオマスと同程度の値を示さなかった。したがって、バイオマスの観点において、50 年後の世代に対して世代間倫理が成立することが示された。この結果は、バイオマス一次生産量の最も多い熱帯雨林地帯での結果であることから、熱帯雨林地帯以外の土地でも、同様のことがいえると考えられる。また、地下バイオマスについては、熱帯雨林が多雨であることから、自然林および二次林の間に差が見られなかった。本研究では、二次林のバイオマスは、自然林のそれと同等な状態に回復される場合を想定した。しかし、完全な環境の回復状態ではなくとも、将来世代が現在世代から資源不足などの被害を受けることのない回復状態であれば、世代間倫理が不成立になると考えられる。

今後の展望

国家間の倫理は、国家戦略を背景として論じられる場合もある。Barison, Y (2013) は、世界におけるパームオイル生産が地球環境に与える負荷が小さいことを、主に先進国で栽培されている油糧作物に比べて単位面積当たりの油の生産性が高いことから示している。また、森林破壊を引き起こしてきた先進国に比べて、マレーシアの今後のパーム園圃場の拡大は、十分に環境負荷が小さいことを述べている。しかし、たとえば蒲原ら (2010) は、パーム油生産拡大における熱帯雨林伐採や生物多様性、生物個体数の損失などを指摘している。これらの主張は、パーム油生産国と、パーム油の輸入による国の油糧作物の生産に危機感を持つ国々との対立を浮き彫りにする。また、自然環境に対する認識も、その自然環境を保有する生産国と、すでに自然環境を改変して農地や林地にした先進国や消費国との間で、大き

図 5 バイオマスの観点からの環境回復の考え方

表1 二次林の地上バイオマス

Age [year]	Biomass [t/ha]	Reference	Age [year]	Biomass [t/ha]	Reference
0.3	4	Szott et al. 1994	7.0	47	Snedaker 1970
0.5	2	Hughes et al. 1999	7.0	43	Williams-Linera 1983
0.7	5	Szott et al. 1994	8.0	122	Bartholomew et al. 1953
0.8	4	Tergas and Popenoe 1971	8.0	22	Hughes et al. 1999
0.8	9	Tergas and Popenoe 1971	8.0	66	Snedaker 1970
0.8	12	Tergas and Popenoe 1971	9.0	90	Alves et al. 1997
0.8	100	Tergas and Popenoe 1971	9.0	13	Drew et al. 1978
0.8	9	Tergas and Popenoe 1971	9.0	44	Saldarriaga et al. 1988
0.8	7	Tergas and Popenoe 1971	9.0	72	Snedaker 1970
0.8	4	Tergas and Popenoe 1971	10.0	66	Sabhasri 1978
0.8	13	Tergas and Popenoe 1971	10.0	73	Sabhasri 1978
0.8	14	Tergas and Popenoe 1971	10.0	56	Sabhasri 1978
0.8	14	Tergas and Popenoe 1971	10.0	0.057	Sabhasri 1978
1.0	5	Williams-Linera 1983	10.0	54	Snedaker 1970
1.0	10	Drew et al. 1978	10.0	58	Toky and Ramakrishnan 1983
1.0	8	Snedaker 1970	11.0	36	Cuevas et al. 1991
1.0	5	Toky and Ramakrishnan 1983	11.0	53	Saldarriaga et al. 1988
1.0	7	Uhl et al. 1982	12.0	82	Saldarriaga et al. 1988
1.0	6	Uhl et al. 1982	14.0	53	Saldarriaga et al. 1988
1.4	13	Szott et al. 1994	15.0	10	Toky and Ramakrishnan 1983
2.0	7	Alves et al. 1997	16.0	272	Hughes et al. 1999
2.0	13	Ewel 1971	18.0	123	Greenland and Kowal 1960
2.0	14	Snedaker 1970	20.0	60	Drew et al. 1978
2.0	13	Uhl et al. 1982	20.0	76	Hughes et al. 1999
2.4	25	Szott et al. 1994	20.0	253	Hughes et al. 1999
3.0	37	Alves et al. 1997	20.0	62	Saldarriaga et al. 1988
3.0	33	Alves et al. 1997	20.0	98	Saldarriaga et al. 1988
3.0	5	Drew et al. 1978	20.0	64	Saldarriaga et al. 1988
3.0	23	Snedaker 1970	20.0	83	Saldarriaga et al. 1988
3.0	20	Uhl et al. 1982	20.0	15	Toky and Ramakrishnan 1983
4.0	38	Ewel 1971	26.0	199	Hughes et al. 1999
4.0	41	Hughes et al. 1999	30.0	54	Saldarriaga et al. 1988
4.0	23	Sabhasri 1978	30.0	241	Hughes et al. 1999
4.0	30	Sabhasri 1978	35.0	109	Saldarriaga et al. 1988
4.0	27	Snedaker 1970	35.0	108	Saldarriaga et al. 1988
4.0	29	Uhl et al. 1982	40.0	159	Saldarriaga et al. 1988
4.4	53	Szott et al. 1994	50.0	214	Greenland and Kowal 1960
5.0	38	Alves et al. 1997	50.0	274	Hughes et al. 1999
5.0	77	Bartholomew et al. 1953	50.0	178	Singh and Ramakrishnan 1982
5.0	37	Snedaker 1970	60.0	116	Saldarriaga et al. 1988
5.0	23	Toky and Ramakrishnan 1983	60.0	197	Saldarriaga et al. 1988
5.0	34	Uhl et al. 1982	60.0	138	Saldarriaga et al. 1988
6.0	11	Drew et al. 1978	80.0	134	Saldarriaga et al. 1988
6.0	43	Ewel 1971	80.0	178	Saldarriaga et al. 1988
6.0	45	Snedaker 1970	80.0	144	Saldarriaga et al. 1988
7.0	29	Sabhasri 1978	80.0	142	Saldarriaga et al. 1988
7.0	26	Sabhasri 1978			

く異なることが明らかとなっている。したがって、バイオ燃料生産の世代間倫理においても、立場の違い国家と、その国家の倫理観の間で議論が起こることが容易に想定される。倫理的課題の研究においては、このような国家によって違いのある倫理的立場をどのように設定するかを、議論した二つの軸に加えて設定することにより、発展的に世界規模の世代間倫理を論じることができると考えられる。

まとめ

本研究では、持続的な社会発展を前提としたバイオ燃料生産について、人間中心主義と自然共生主義の観点、およびバイオ燃料生産の背景を整理し、三条件（化石燃料の枯渇、CO₂ 排出による地球温暖化、エネルギーセキュリティ）から、世代間倫理の成立の有無の検討を行った。さらに、農地や森林の環境回復の観点から、時間軸における世代間倫理の成立について考察を行った。得られた結論は、以下のとおりである。

- 1) 三条件のうち一つの条件でも成立し、かつ人間中心主義の立場をとる場合には、バイオ燃料生産の世代間倫理が不成立となり、それ以外では世代間倫理が成立した。
- 2) 労働年齢が15歳から65歳とした場合、農地利用のバイオ燃料作物生産において、世代間倫理は成立しないことが示された。しかし、バイオ燃料作物生産によって役割を変更された森林環境の回復期間が約50年を超えると、世代間倫理が強く成立した。また、森林環境の回復期間が約50年を超えないと、世代間倫理の成立が弱くなり、通常の倫理問題に近づくことが明らかとなった。
- 3) 熱帯雨林地帯で農地を放棄した場合に発生する二次林のバイオマスの文献データの調査結果から、50年では二次林のバイオマスが自然林と同程度に回復されないため、約50年以降の世代に対して世代間倫理が成立することが示された。

引用文献

赤祖父俊一（2009）地球温暖化：その科学的真実を問う，エネルギー資源，30(1): 3–22.

秋山 郁・李卓霖・小田原司・茂木源人（2011）埋蔵量成長を考慮した世界石油生産推移予測，日本エネルギー学会大会講演要旨集，(20): 362–363.

Alves, D. S., J. Viane Sares, S. Amaral, E. M. K. Mello, S. A. S. Almeida, O. Fernandes Da Silva and A. M. Silveira (1997) Biomass of primary and secondary vegetation in Rondonia, Western Brazilian Amazon, *Global Change Biology*, 3: 451–461.

Barison, Y. (2013) Malaysian Supply and Demand of Palm Oil: Challenges and opportunities until 2020, Malaysia palm Oil Council, <<http://www.mpoc.org.my/upload/Oil-World-Outlook-Conference-2013-Hamburg.pdf>>, browsed on Jan. 1, 2014.

Bartholomew, W. V., J. Meyer and H. Laudelot (1953) Mineral nu- trient

immobilization under forest and grass fallow in the Yangambi (Belgian Congo) region, Publications de L'Institut National pour L'Etude Agronomique du Congo Belge, Serie Scientifique No. 57.

BP (2012a) Statistical Review of World Energy 2012, <<http://www.bp.com/sectiongenericarticle800.do?categoryId=9037128&contentId=7068555>>, browsed on Feb. 17, 2013.

BP (2012b) Statistical Review of World Energy 2012, <http://www.slideshare.net/BP_plc/bp-statistical-review-of-world-energy-2012-summary-of-2011-data>, browsed on Oct. 11, 2013.

ブルントラント委員会（1987）Our Common Future, <<http://www.un.org/documents/ga/res/42/ares42-187.htm>>, 2013年2月18日参照.

Colin, D. B., N. B. Metcalfe and M. Mangel (1996) Seasonal Matching of Foraging to Anticipated Energy Requirements in Anorexic Juvenile Salmon, *Proceedings of the Royal Society Biological Sciences*, vol. 263 (1366): 13–18.

Cuevas, E., S. Brown and A. E. Lugo (1991) Above- and below- ground organic matter storage and production in a tropical pine plantation and a paired broadleaf secondary forest, *Plant and Soil*, 135: 257–268.

Dhillon, R. S. and G. von Wuehlisch (2013) Mitigation of global warming through renewable biomass, *Biomass and Bioenergy*, 48: 75–89.

Drew, W., S. Aksornkoae and W. Kaitpraneet (1978) An assessment of productivity in successional stages from abandoned swidden (rai) to dry evergreen forest in northeastern Thailand, *Forest Research Bulletin* 56, Kasetsart University, Bangkok.

Ewel, J. J. (1971) Biomass changes in early tropical succession, *Turrialba*, 21: 110–112.

Gamborg, C., K. Millar, O. Shortall and P. Sandoe (2012) Bioenergy and Land Use-Framing the Ethical Debate, *Journal of Agricultural and Environmental Ethics*, 25: 909–925.

Gomiero, T., M. Paoletti and D. Pimentel (2010) Biofuels—Efficiency, Ethics and Limits to Human Appropriation of Ecosystem Services, *Journal of Agricultural and Environmental Ethics*, October, 2010, 23(5): 403–434 (32).

Greenland, D. J. and J. M. L. Kowal (1960) Nutrient content of the moist tropical forest of Ghana, *Plant and Soil*, 12: 154–174.

Hughes, R. F., J. B. Kaufman and V. J. Jaramillo (1999) Biomass, carbon, and nutrient dynamics of secondary forests in a humid tropical region of Mexico, *Ecology*, 80: 1892–1907.

石井 彰（2009）石油資源の確保—素地地政学と市場原理主義はともに適切ではない，エネルギー・資源，30(6): 18–23.

石井 彰（2011）非在来型天然ガス資源（シェール・ガス，CBM）の開発状況，エネルギー・資源，32(4): 209–213.

井澤英二（2012）金属資源の発見とその背景，エネルギー・資源，33(3): 155–159.

Jonas, H. (2000) 「責任という原理—科学技術文明のための倫理学の試み」，加藤尚武監訳，東信堂，東京，438 pp.

蒲原弘継・後藤尚弘・藤江幸一（2010）インドネシアにおけるパーム油生産拡大に伴う環境影響と低減策，環境科学会誌，23(4): 332–340.

鎌田 正・米山寅太郎（2010）「新漢語林」第二版，大修館書店.

環境省（2011）フォレストパートナーシップ・プラットフォーム，<<http://www.env.go.jp/nature/shinrin/fpp/>>, 2013年1月16日参照.

加藤尚武（1991）「環境倫理学のすすめ」，丸善，東京，226 pp.

経済産業省（2006）新・国家エネルギー戦略要約版，<<http://www.enecho.meti.go.jp/topics/energy-strategy/senryaku-youyaku.pdf>>, 2013年2月18日参照.

経済産業省資源エネルギー庁（2007）2005年度以降適用する標準

- 発熱量の検討結果と改訂値について, <<http://www.enecho.meti.go.jp/info/statistics/jukyu/resource/pdf/070601.pdf>>, 2013 年 2 月 18 日参照.
- 経済産業省資源エネルギー庁 (2010), Energy in JAPAN 2010, <<http://www.enecho.meti.go.jp/topics/energy-in-japan/english2010.pdf>>, 2013 年 2 月 18 日参照.
- 気象庁 (2007) IPCC 第 4 次評価報告書統合報告書政策決定者向け要約, <http://www.env.go.jp/earth/ipcc/4th/syr_spm.pdf>, 2013 年 2 月 20 日参照.
- Kricher, J. C. (1992) 「熱帯雨林の生態学—アマゾンの生態系と動植物」, 伊沢紘生監修, 幸島司郎訳, どうぶつ社, 62–110 pp.
- 前田高行 (2012) BP エネルギー統計レポート 2012 年版解説シリーズ—石油篇, <<http://members3.jcom.home.ne.jp/3632asdm/0231BpOil2012.pdf>>, 2013 年 2 月 18 日参照.
- 丸山茂徳 (2008) 地球はこれから寒冷化する, 月刊文藝春秋, 2008(5): 330–337.
- Mitchell, D. (2008) A Note on Rising Food Prices, The World Bank Development Prospects Group, <<https://openknowledge.worldbank.org/bitstream/handle/10986/6820/WP4682.pdf?sequence=1>>, browsed on Oct. 23, 2012.
- 中村太和 (2009) 地球温暖化と脱石油戦略: 原発・バイオ燃料に未来はあるか, 経済理論, 350: 41–61.
- Nash, R. F. (1989) 「自然の権利—環境倫理の文明史」, 松野弘訳, 筑摩書房, 東京, 537 pp.
- 日本貿易振興機構 (JETRO) (2012) 米国食糧及びバイオ燃料生産の現状と課題, <<http://www.jetro.go.jp/jfile/report/07000918/report.pdf>>, 2013 年 2 月 18 日参照.
- Niiyama, K., T. Kajimoto, Y. Matsuura, T. Yamashita, N. Matsuo, Y. Yashiro, A. Ripin, A. R. Kassim and N. S. Noor (2010) Estimation of root biomass based on excavation of individual root systems in a primary dipterocarp forest in Pasoh Forest Reserve, Peninsular Malaysia, *Journal of Tropical Ecology*, 26 (03): 271–284.
- 野口良造・森田祐介・窪田佑二・トファエル・アハメド・源川拓磨・瀧川具弘 (2012) バイオ燃料生産の世代間倫理からの考察, 農業環境工学関連学会 2012 年合同大会 (於宇都宮大学), D32, 講演要旨集 CDROM 2012.9.
- 農林水産政策研究所 (2011) 我が国農業分野における地球温暖化対策の評価手法の開発等に関する研究, <http://www.maff.go.jp/primaff/kenkyu/gaiyou/kadai_itiran/index.html>, 2013 年 2 月 17 日参照.
- 農林水産省 (2006) バイオマス・ニッポン総合戦略, <http://www.maff.go.jp/j/biomass/pdf/h18_senryaku.pdf>, 2013 年 2 月 18 日参照.
- OECD (2013) “OECD Skills Outlook 2013, First Results from the Survey of Adult Skills”, OECD Publishing.
- 大沢雅彦 (2001) 「生態学からみた身近な植物群落の保護」, 講談社, 東京, 244 pp.
- Sabhasri, S. (1978) “Effects of forest fallow cultivation on forest production and soil, Economic development and marginal agriculture in northern Thailand”, Kunstadter, P., E. C. Chapman and S. Sabhasri, University Press of Hawaii, Honolulu, 160–184.
- Saldarriaga, J. G., D. C. West, M. L. Tharp and C. Uhl (1988) Long-term chronosequence of forest succession in the upper Rio Negro of Colombia and Venezuela, *Journal of Ecology*, 76: 938–958.
- Sedjo, R. A., M. Amano and Y. Yamagata (2002) The Operationalization of the Kyoto Protocol with a Focus on Sinks: A Perspective for Japan, 「森林総合研究所研究報告」(Bulletin of FFPRI), Vol. 1, No. 2(No. 383): 151–161.
- 小学館国語辞典編集部 (2006) 「精選版日本国語大辞典」, 小学館, 第 3 巻.
- Silver, W. L., R. Ostertag and A. E. Lugo (2000) The Potential for Carbon Sequestration Through Reforestation of Abandoned Tropical Agricultural and Pasture Lands, *Restoration Ecology*, 8(4): 394–407.
- Singh, J. and P. S. Ramakrishnan (1982) Structure and function of a subtropical humid forest of Mehalaya, I. Vegetation, bio-mass and its nutrients, *Proceedings of the Indian National Science Academy (Plant Science)*, 91: 241–253.
- Snedaker, S. C. (1970) Ecological studies on tropical moist forest succession in eastern lowland Guatemala, Ph. D. thesis, University of Florida, Gainesville.
- 総務省 (2002) エネルギー政策基本法 (平成十四年六月十四日法律第七十一号), <<http://www.nca.or.jp/hyousyou/22gaiyou.pdf>>, 2013 年 4 月 24 日参照.
- Szott, L. T., C. A. Palm and C. B. Davey (1994) Biomass and litter accumulation under managed and natural tropical fallows, *Forest Ecology and Management*, 67: 177–190.
- 田川日出夫 (1973) 「生態遷移」I, 共立出版, 東京, 87pp.
- Tergas, L. E. and H. C. Popenoe (1971) Young secondary vegetation and soil interactions in Izabal, Guatemala, *Plant and Soil*, 34: 675–690.
- Thompson, P. B. (2008) The Agricultural Ethics of Biofuels—A First Look, *Journal of Agricultural and Environmental Ethics*, 21: 183–198.
- Toky, O. P. and P. S. Ramakrishnan (1983) Secondary succession following slash and burn agriculture in north-eastern India, I. Biomass, litterfall, and productivity, *Journal of Ecology*, 71: 735–745.
- Uhl, C., C. Jordan, K. Clark, H. Clark and R. Herrera (1982) Eco-system recovery in Amazon caatinga forest after cutting and burning, and bulldozer clearing treatments, *Oikos*, 38: 313–320.
- WHO (2012) World Health Statistics 2012, <http://apps.who.int/iris/bitstream/10665/44844/1/9789241564441_eng.pdf>, browsed on Dec. 13, 2013.
- Williams-Linera, G. (1983) Biomass and nutrient content in two successional stages of tropical wet forest in Uxpanapa, Mexico, *Biotropica*, 15: 275–284.
- 全国農業会議所 (2010) 耕作放棄地発生防止・解消活動表彰事業事例集, <<http://www.nca.or.jp/hyousyou/22gaiyou.pdf>>, 2012 年 12 月 13 日参照.

受付日 2014 年 4 月 3 日
 受理日 2014 年 7 月 16 日
 担当分野 工学分野

Intergenerational Ethics of the Expansion of Biofuel Production from the Viewpoint of Environmental Recovery

Yoshimi Iyama¹⁾, Ryozi Noguchi^{*2)} and Yusuke Morita³⁾

1) Graduate School of Life and Environmental Sciences, University of Tsukuba, 1-1-1, Tennodai, Tsukuba 305-8572, Japan

2) Faculty of Life and Environmental Sciences, University of Tsukuba, 1-1-1, Tennodai, Tsukuba 305-8572, Japan

3) Undergraduate School of Life and Environmental Sciences, College of Agrobiological Resource Sciences, University of Tsukuba, 1-1-1 Tennodai, Tsukuba 305-8572, Japan

Abstract

From the viewpoint of environmental recovery, we investigated the intergenerational ethics of biofuel production for sustainable development by considering anthropocentrism versus environmentalism, fact versus fiction concerning three conditions: the depletion of fossil fuels, global warming due to CO₂ emissions, and energy security. Intergenerational ethics are pertinent except in the intersection of anthropocentrism and the fact of under three conditions. On the assumption that a working lifetime spans 50 years from the ages of 15 to 65, the use of agricultural fields for biofuel production has weak implications for intergenerational ethics. A review of the literature showed that carbon fixation by secondary forests grown for biofuel production would not reach that by primary forest in 50 years. Therefore, biofuel production will have strong implications for intergenerational ethics, if intergenerational ethics occurs on discussion for over 50 years generation.

Keywords

anthropocentrism, biofuel, biomass, environmentalism, intergenerational ethics

* Corresponding Author

E-mail: noguchi.ryozo.gm@u.tsukuba.ac.jp