

名古屋都市圏における木質系建設副産物の 地域循環圏に関する研究

奥岡桂次郎¹・大西暁生²・谷川寛樹³

¹正会員 名古屋大学大学院 環境学研究科 (〒464-8601 名古屋市千種区不老町D2-1)

E-mail : okuoka@nagoya-u.jp

²正会員 東京都市大学 環境学部 (〒224-8551 神奈川県横浜市都筑区牛久保西3-3-1)

³正会員 名古屋大学大学院 環境学研究科 (〒464-8601 名古屋市千種区不老町D2-1)

第3次循環型社会形成推進基本計画より、地域循環圏の構築を推進することが重要である。建設副産物は循環利用率の改善は把握されている一方、循環する圏域の規模が不明瞭である。本研究では、建設副産物の中でも熱利用のポテンシャルが高い木質系についてサーマルリサイクルとして循環利用することを対象に、名古屋都市圏における地域循環圏の検討を行った。また、循環利用の効率として、域内の市町村を対象に副産物を輸送した場合の効率改善を考慮することで、木質系リサイクルの地域構造を検討した。結果として、循環利用最適化モデルを用いることで、輸送拠点を中心に半径30km程度の循環圏が示された。

key words : regional resource recycling zones, spatial analysis, urban metabolism, construction byproduct, material flow analysis

1. はじめに

平成26年環境・循環型社会・生物多様性白書¹⁾より、循環型社会の形成に向けたこれまで以上の取り組みが推進されている。特に、将来に向けた人口減少や産業構造の変化に応じた、計画が検討されている。また、東日本大震災に伴う災害廃棄物の処理など、円滑に廃棄物を処理できる体制を構築することの重要性が記されており、都市に蓄積された構造物の動態を明らかにする必要がある。第3次循環型社会形成推進基本計画²⁾では、地域循環圏の高度化を推進するために、地域特性や廃棄物の種類に応じた循環利用のあり方を検討することを重要と定めている。地域循環圏に関する検討は、Chen *et.al*³⁾や、藤山ら⁴⁾、奥岡ら⁵⁾、奥岡ら⁶⁾など、様々な検討がなされている。

都市に蓄積された構造物の動態は、都市の物質代謝として主に建設部門の着工・解体に伴う建設副産物が軸となっている。その中でも、建築物解体による排出物は、昭和40年代以降に急増した建築物が更新期を迎えており、今後とも発生量が増加すること

が予想されている。また、建設副産物の循環利用に関しては、平成12年に制定された「建設リサイクル法⁷⁾」から、一定規模以上の工事において特定建設資材の分別解体および再資源化等が義務づけられたため、その再資源化率は高く、その現況は平成24年度建設副産物実態調査⁸⁾に詳しい。特定建設資材のうち、コンクリート塊、アスファルト・コンクリート塊は、平成12年度以降高い再資源化率を維持しており、平成24年度の値はそれぞれ99.3%、99.5%である。建設発生木材の再資源化率は、平成12年度以降上昇傾向にあり、平成12年度の38%から、平成17年度の68.2%、平成20年度の80.3%、平成24年度には89.2%となっている。これらから、建設副産物の循環利用は高い水準であることが示されている。しかし、これらの再資源化の工程や輸送についてはあまり触れられておらず、循環利用率の増加を中心とした議論が多く、地域循環圏の構築に向けた取り組みとは一線を画している。

今後、天然資源投入量の削減や、処理・輸送に関わるコストや環境負荷の低減を考慮する際に欠かせ

ない、建設副産物の発生量を空間的に把握することを対象とした研究は多くない。中でも建設発生木材は燃焼によりサーマルリサイクルとするため、輸送の圏域が大きくなることは望ましくない。木質系建設副産物の発生は主として建築物の解体量に依存しており、建築物が多く集積している地域がある一方、廃木材の処理場は建築物ほど人口に密接に関わった分布をしていない。

本研究では、木質系建設副産物の循環利用を対象に、名古屋都市圏における地域循環圏の検討を行った。

2. 地域循環圏検討の方法

2.1 木質系建設副産物推計モデル

本研究は、建築物の解体に伴い発生する廃木材を推計し、処理施設の分布による輸送距離から、木質系建設副産物の地域循環圏の規模を把握・検討するものである。モデルの概要を図-1に示す。推計モデルは、人口コーホートと建築物コーホートにより推計した建築物の着工・廃棄により示される。

市町村データベースは、コーホート法を用いることで、2005年と2010年の人口(総務省統計局⁹⁾)と出生率¹⁰⁾・死亡率¹⁰⁾から2050年まで5年ごとの将来人口を推計した値である。市町村の数は125であり、男女別、5歳階級別のデータを集計している。仮想都市モデル(Okuoka *et.al*¹¹⁾)を用いることで、市域全体とDID地区の人口・面積・人口密度から、世帯数と昼間人口を推計し、建築物面積需要量を推計した。建築物面積需要量は、国勢調査⁹⁾と法人建物調査¹²⁾より、構造別に住宅と業務建物を推計しており、その総計を用いた。一方、建築物についてもコーホートを作成した。建築統計年報¹³⁾の建築物着工量と推計した建築物面積需要量とを重ねることで、建築物面積の需要と供給から当該5ヶ年に着工・廃棄される建築物面積を推計した。廃棄については、小松ら¹⁴⁾や小見ら¹⁵⁾を参考に既存の廃棄率曲線をワイブル

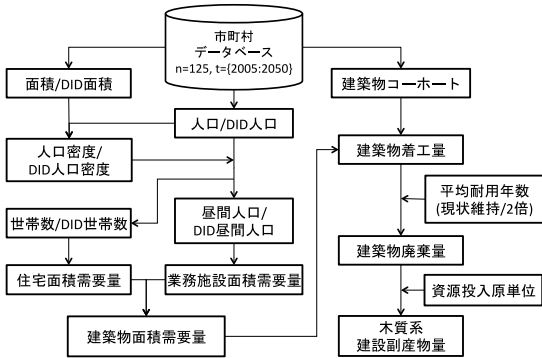


図-1 木質系建設副産物推計モデル概要

分布と仮定して作成し(表-1)、そちらの平均耐用年数について、2050年時点で現状維持または2倍となるようにシナリオを設定し、各年次に対応した廃棄率を推計することで、その値を用いた。ここでは、廃棄された構造別の建築物面積より、表-2に示した資源投入原単位(長岡ら¹⁶⁾)を乗じて木質系建設副産物量を推計した。

2.2 処理施設の分布

本研究では、木質系建設副産物の処理施設として、建設リサイクル法における木くずの処理業者による処理施設を対象に、施設の分布を設定した。初期状態は、愛知県、岐阜県、三重県の開示している指定の処理業者を用いており、図-2に示す分布である。将来推計に伴い、施設の統合・新設を検討する。木質系建設副産物の輸送に伴い形成される圏域の輸送拠点として、処理施設に加えてストックヤードを仮定する。ストックヤードの設定に伴い、圏域を統合できる場合は、施設の統合を行い、必要ない施設については閉鎖をすることで、圏域の整理を行う。

表-1 廃棄率曲線のパラメータ

	木造	RC造	S造
δ	0.00	0.00	0.00
m	2.62	4.68	2.07
η	51.68	46.96	38.71
平均耐用年数	44.93	43.41	32.41

表-2 建築物の資源投入原単位 [kg/m²]

	砂利・石材	コンクリート	モルタル	木材	ガラス	陶磁器	鉄	アルミニウム
木造	0.00	86.23	2.53	88.40	4.90	52.14	1.89	1.96
SRC造	0.00	1314.22	21.88	18.99	1.88	3.21	46.21	2.10
RC造	0.00	1257.56	21.88	17.91	2.03	3.51	33.23	2.09
S造	0.00	233.05	106.24	10.72	1.22	1.10	133.57	1.18

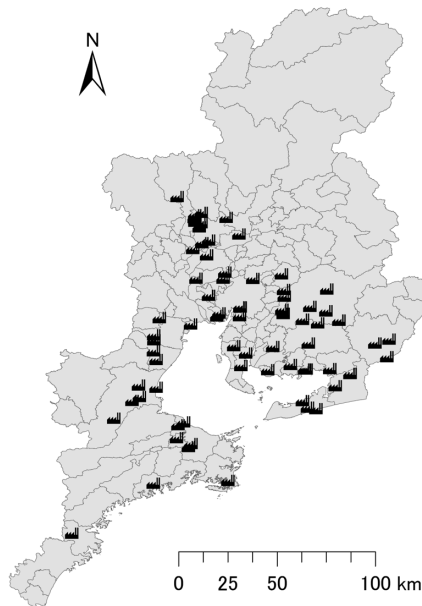


図-2 処理業者の分布

2.3 循環利用最適化モデル

木質系建設副産物の地域循環圏における循環利用のリサイクル性を評価するために、建設副産物の輸送により最適な圏域の規模が検討可能となる。建設副産物の輸送・再利用に関しては、リサイクル評価の要因として輸送距離を指摘されている。本研究では、奥岡ら⁶⁾がコンクリート塊の輸送をモデル化を行ったものを拡張して、木質系建設副産物の循環利用最適化モデルを構築した。図-3に、モデルのフレームワークを示した。循環利用最適化モデルは、(a)輸送拠点の生成、(b)輸送拠点の結合、によって構成されており、(a)において作成された輸送拠点を、(b)において輸送距離を拡大することで統合し、初期に多数生成された輸送拠点が減少していくことで圏域の拡大を表現するモデルである。なお、分析には構造計画研究所のマルチエージェント・シミュレータ「artisoc」を用いた。

輸送により、処理施設の処理可能量が飽和に近づくため、圏域が拡大した時の輸送量の増加の傾向を分析する。輸送拠点のうち処理施設は前節より所与とするが、ストックヤードについてはモデル内で統廃合した場合に応じて位置を変更する。以上の手順で圏域が拡大する経過をシミュレート内で把握して、時系列に比較をすることで、その大小の変化によって最適な循環圏の検討を行った。

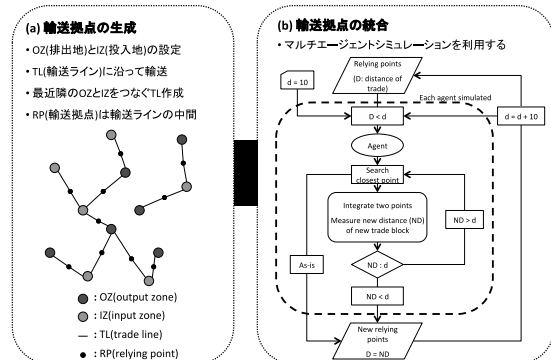


図-3 循環利用最適化モデル概要

3. 分析結果

3.1 シナリオ設定

対象地域は名古屋市周辺の125の市町村であり、対象期間は2005年から2050年まで5年ごとである。シナリオとして、2050年に達成する建物の耐用年数が、1) 現状維持(Status Quo：SQ)、2) 2.0倍(double：W)の場合の2種類を仮定した。これらのシナリオにおける推計結果を比較することで、木質系建設副産物の循環利用のリサイクル性評価を行った。

3.2 推計モデル結果

図-4に2005年から2050年までの対象地域全体における構造別の建築物廃棄量を示す。Wは木造、RCは鉄筋コンクリート造、Sは鉄骨造を示す。左の(a)は、現状維持シナリオ(SQ)の結果を示しており、建築物廃棄量は増加傾向にある。2045年でピークを示しており、更新期を迎える建築物が多く存在することが理由である。また、構造別の割合はそれほど大きく変化しないが、人口が減少し人口密度が小さくなるために、木造住宅の割合が増加するため、廃棄量についても木造の割合が微増している。右の(b)では、耐用年数2倍シナリオ(W)の結果を示しており、建築物の廃棄量は微減の傾向である。(a)SQと比較すると、その差は顕著であり、耐用年数を徐々に引き延ばすことで、廃棄量の増加を抑えていることが示された。また、構造別の割合としては、S造の耐用年数がW造・RC造と比較すると相対的に短くなるが、需要としてはRC造が比較的大きいために、S造からRC造に建て替えが発生するため、RCの割合がやや大きい結果となっている。以上のことから耐用年数の変化から廃棄量だけでなく、構造の割合に

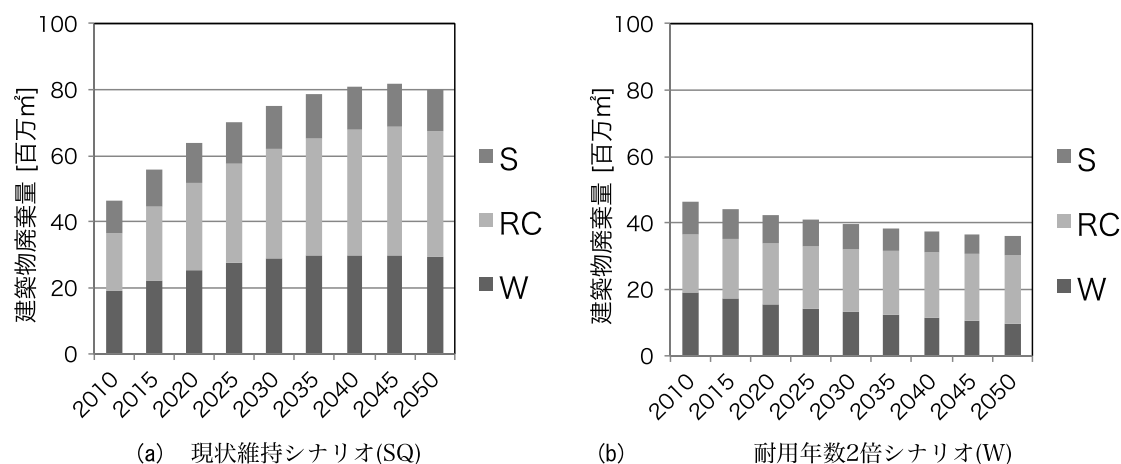


図-4 構造別建築物廃棄量の推計結果

も影響を及ぼすことが示された。

次に、木質系建設副産物量の市町村ごとの推計結果を年・シナリオ別に図-5に示す。(a)は2010年、(b)は2050年の現状維持シナリオ(SQ)、(c)は2050年の耐用年数2倍シナリオ(W)の結果をそれぞれ示している。全体として、名古屋市を中心に岐阜市、四日市市、津市、岡崎市、豊田市、豊橋市が大きい傾向にある結果となり、名古屋都市圏における都市の分布と関係していることが示された。このため、輸送を考慮する際に、核都市と衛星都市の関係など都市圏の特性が結果に影響することが示唆される。また、2050年のシナリオごとの比較では、耐用年数の変化により大きく変化が見られることが示された。特に、衛星都市での現象が顕著である。

3.3 木質系建設副産物の地域循環圏

木質系建設副産物の輸送を考慮することで地域循環圏の検討を行った。方法としては、前章で示した循環利用最適化モデルを利用して、輸送拠点を生成・統合することにより、地域循環圏における圏域規模の大きさを算出した。輸送を多く行くと、圏域は大きくなるため、適切な輸送量を検討することで、圏域の規模を明らかにする。分析では、ステップ毎に5kmずつ圏域の最大値を変化させることで、最大50kmまでを対象とした。

図-6に分析結果の代表として、2050年における現状維持シナリオ(SQ)の輸送距離別の地域循環圏の分布を示す。それぞれ、(a)は輸送距離10km、(b)は輸

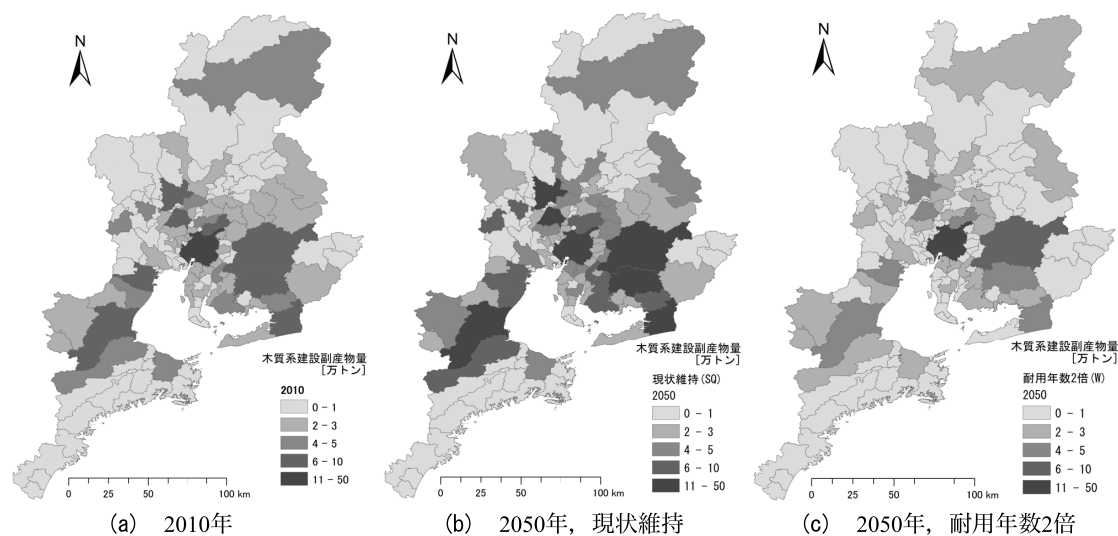


図-5 市町村・年・シナリオ別木質系建設副産物量

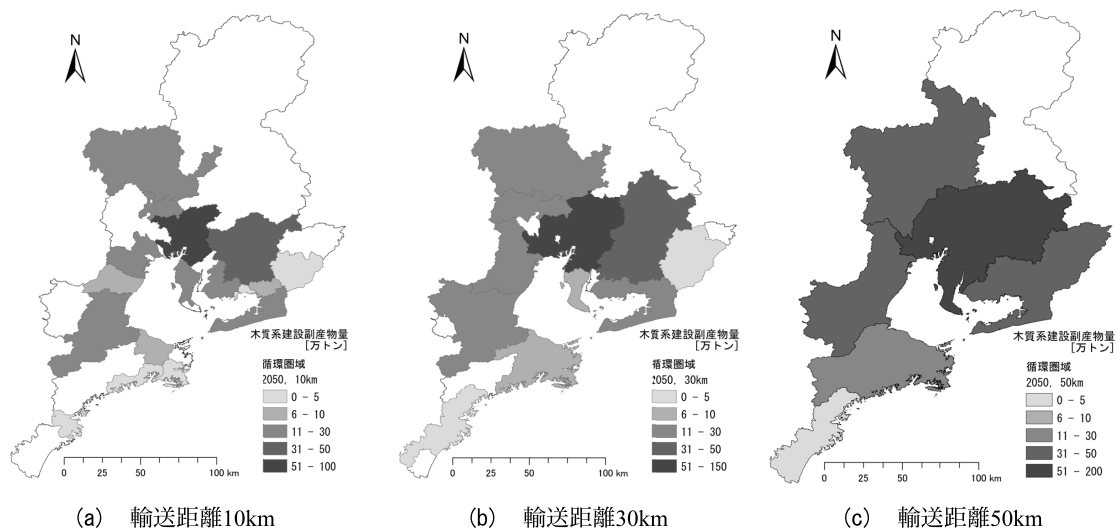


図-6 2050年現状維持シナリオ(SQ)における輸送距離別地域循環圏

送距離30km, (c)は輸送距離50kmを制約条件とした場合の結果を示している。なお、無色の地域は輸送拠点が存在しないために、循環圏が形成されていない地域である。全ての結果に共通して、核都市と衛星都市が中心となっており、圏域を形成していることが確認される。(a)では、輸送距離が短いために、図-2に示した処理施設に制約を受けて、圏域が形成されない地域が多く存在する。(b)では、(a)より多くの地域が統合され圏域が拡大していることが示された。特に、(a)で無色の地域に拡大される結果となった。(c)では、輸送距離制約の縮小によりさらに圏域が拡大されているが、(b)と比較して無色の地域にまで拡大した結果は少なく、(b)の圏域の組み替え・統

合が進み、必要以上に圏域が拡大されることが示された。

次に、図-7に圏域ひとつあたりの平均の建設副産物処理量を示した。また、折れ線グラフは圏域の平均規模を示し、線分はそのばらつきの程度を示す。圏域の制約条件を小さくするごとに、処理量が大きくなることが明らかである。しかし、圏域を大きくするほど、圏域のばらつきが増大し、制約条件を50km、現状維持シナリオ(SQ)の結果では、圏域ごとに分布の傾向が異なることが示された。一方、制約条件を50km、耐用年数2倍シナリオ(W)の結果では、ある程度水準に処理量を落ち着かせることが可能であり、圏域のばらつきが小さくなることが示された。また、既存の処理施設を利用することで、必要以上の輸送拠点の生成を避けることが可能である。以上より、木質系建設副産物の地域循環圏を形成する際に、処理可能量と圏域の規模について、輸送可能距離と建築物の耐用年数により異なることが示された。

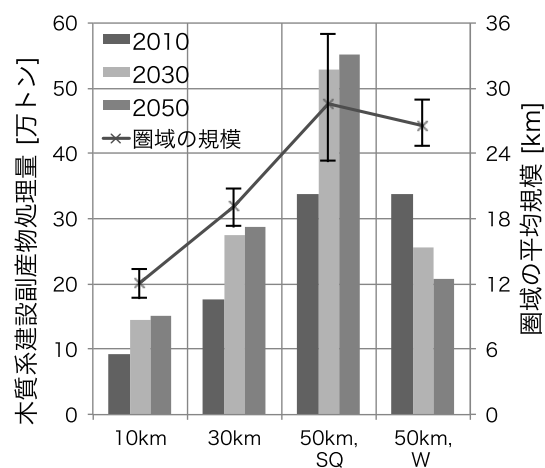


図-7 2050年代・シナリオ別の圏域ひとつあたり木質系建設副産物処理量と圏域の規模

4. 終わりに

本研究では、木質系建設副産物の地域循環圏構築について検討を行った。木質系建設副産物推計モデルにより、2050年までの建築物解体に伴う廃木材を中心とした木質系建設副産物量の推計を行った。また、輸送拠点として建設リサイクル法における木く

ずの処理施設の既存施設とストックヤードの新設を仮定して、循環利用最適化モデルを構築することで、木質系建設副産物の輸送をモデル化し、圏域の規模を検討した。建築物の耐用年数を2倍とするシナリオを導入することで、処理領域の必要以上の拡大を避け、将来に向けてあまり変わらない規模の圏域を維持できる可能性が示された。

今回の分析では、マルチエージェントシステムを用いて、自己組織的に圏域が形成される過程を示しているが、輸送距離を拡大した場合のルート推計など改善が見込まれる。また、本研究では建築物着工に伴う木材のフローを明示していないため、国産材・外国産材によるカーボンバランスの影響を考慮することが今後の課題として考えられる。

謝辞：本研究の一部は、日本学術振興会科学研究費((基盤研究(C)26340104, 基盤研究(B)26281056)および環境省環境研究総合推進費(1-1402, 2-1404)の助成を受けて行われたものである。ここに感謝の意を記します。

参考文献（引用順）

- 1) 環境省：平成26年環境・循環型社会・生物多様性白書, 2014.
- 2) 環境省：第3次循環型社会形成推進基本計画, 2013.
- 3) Xudong Chen, Tsuyoshi Fujita, Satoshi Ohnishi, Minoru Fujii, Yong Geng : The Impact of Scale, Recycling Boundary, and Type of Waste on Symbiosis and Recycling, *Journal of Industrial Ecology*, Vol.16, No.1, pp. 129-141, 2012.
- 4) 藤山淳史, 松本亨：産業廃棄物及び廃PETボトルを対象とした循環圏に関する要因分析, *環境科学会誌*, No.23-2, pp.115-125, 2010.

- 5) 奥岡桂次郎, 三宅悠介, 大西暁生, 韓驥, 白川博章, 谷川寛樹：東海三県における建設系廃棄物の地域循環圏に関する基礎的研究, *土木学会論文集G(環境)*, Vol. 68, No.6, 環境システム研究論文第40巻, II_147-II_154, 2012.
- 6) 奥岡桂次郎, 大西暁生, 谷川寛樹：コンクリート塊の地域循環圏に関する将来分析, 第41回環境システム研究論文発表会講演集, pp.459-465, 2013.
- 7) 建設工事に係る資材の再資源化等の関する法律, 平成12年5月制定（建設リサイクル法）.
- 8) 国土交通省：平成24年度建設副産物実態調査, 2014.
- 9) 総務省統計局：平成17年国勢調査, 2005-2010.
- 10) 国立社会保障・人口問題研究所ホームページ：<http://www.ipss.go.jp/>
- 11) Keijiro Okuoka, Tomer Fishman, Hiroki Tanikawa : A Study on Population Distribution and Optimal Size of Urban Area from the Aspect of Material Intensity per Person using the Virtual Urban Area Model, 7th International Society for Industrial Ecology Biennial Conference, ISIE2013-262, 2013.
- 12) 国土交通省：平成15年度法人建物調査, 2003.
- 13) 国土交通省：建築統計年報, 1988-2010.
- 14) 小松幸夫, 加藤裕久, 吉田倬郎, 野城智也：わが国における各種住宅の寿命分布に関する調査報告, *日本建築学会計画系論文報告集*, 第439号, pp.101-110, 1992.
- 15) 小見康夫, 栗田紀之：長寿命化トレンドを考慮した建物残存率のシミュレーション, *日本建築学会計画系論文集*, 第75巻 第656号, pp.2459-2464, 2010.
- 16) 長岡耕平, 稲津亮, 東岸芳浩, 谷川寛樹, 橋本征二：全国の都道府県における地上と地下のマテリアルストック推計に関する研究, *環境システム研究論文集Vol. 37*, pp.213-219, 2009.

(2014. 7. 11 受付)

A STUDY ON REGIONAL RECYCLING ZONE OF LIGNEOUS CONSTRUCTION BYPRODUCT IN GREATER NAGOYA

Keijiro OKUOKA, Akio ONISHI, and Hiroki TANIKAWA

On the Third Basic Plan of Establishing a Sound Material-Cycle Society, it is important to promote the construction of regional resource recycling zone. While the improvement of the recycling rate of construction byproducts has been grasped, it is unclear that the scale of the sphere of circulation will be considered. This study evaluates the regional resource recycling zone in the Greater Nagoya, on recycling wood-based construction byproducts as thermal recycling will be high potential of heat utilization. In addition, it is assessed the regional structure of wood-based recycling considered with transportation of construction byproducts to define the effective utilization rate targeting municipalities. As a result, by using the recycling optimization model, it was shown that area of regional recycling zone was 30km centering around transportation hub.