水害による災害廃棄物量の推計と その処理能力の評価 －名古屋市における建築物を対象とした ケーススタディー－

水嶋　彩恵[1]・Zhang Ruirui[2]・Jing GUO[3]・白川　博章[4]・谷川　寛樹[5]

[1]学生会員　名古屋大学　環境学研究科都市環境学専攻（〒864-8601 愛知県名古屋市千種区不老町D2-1(510)）
E-mail: mizushima.sae@e.mbox.nagoya-u.ac.jp (Corresponding Author)

[2]非会員　名古屋大学　環境学研究科都市環境学専攻（〒864-8601 愛知県名古屋市千種区不老町D2-1(510)）
E-mail: zhang.ruirui@d.mbox.nagoya-u.ac.jp

[3]正会員　名古屋大学助教　環境学研究科都市環境学専攻（〒864-8601 愛知県名古屋市千種区不老町D2-1(510)）
E-mail: jing@urban.env.nagoya-u.ac.jp

[4]正会員　名古屋大学准教授　環境学研究科都市環境学専攻（〒864-8601 愛知県名古屋市千種区不老町D2-1(510)）
E-mail: sirakawa@urban.env.nagoya-u.ac.jp

[5]正会員　名古屋大学教授　環境学研究科都市環境学専攻（〒864-8601 愛知県名古屋市千種区不老町D2-1(510)）
E-mail: tanikawa@nagoya-u.jp

日本国内で集中豪雨による水害被害が拡大し，将来気候変動に伴い甚大な被害が懸念される．拡大する災害に適応するために，想定される被害から災害廃棄物量を推計し，都市の循環システムを把握することが必要である．本研究では，愛知県名古屋市をケーススタディとして，想定される浸水被害における物質循環システムへの影響を把握することを目的に，建築物の災害廃棄物量の推計及び名古屋市内の処理能力を推定した．災害廃棄物量は名古屋市全域の建築資材ストック量の5.3%にあたる13.4百万トンと推計された．浸水深別では想定浸水深2.0～5.0mにおいて55.5%の廃棄物量が推計された．廃棄物の処理能力は1日あたり10.8万トンで処理に130日程度必要であると推計されたが，災害時には処理施設への被害も想定されることから，処理期間の長期化が示唆された．

Key Words : *flood disaster waste, damage ratio, treatment capacity, material stock, GIS*

1. はじめに

豪雨，地震等の自然災害の発生は，都市の社会基盤に甚大な被害を与えることがある．近年，日本国内では，西日本における平成 30 年 7 月豪雨，令和元年台風第 19 号，令和 2 年 7 月豪雨等の災害が発生した．これらの災害では，河川の氾濫，浸水害，土砂災害等が発生し，人的被害や住家被害，電気・水道・道路・鉄道施設等のライフラインへの被害が報告されている．さらに，将来気候変動に伴い豪雨の頻度・強度が増加することにより，甚大な被害が生じることが懸念される．気候変動適応情

報プラットホーム（A-PLAT）では愛知県名古屋市において，2030 年～2050 年に年降水量が 1.0～1.3 倍 [1]，斜面崩壊発生確率が 10%増加する [2]ことが報告されている．このような将来拡大する災害被害から，今後の安全・安心な国土を保全するために，適応策への取り組みを進める必要がある．また，循環型社会の形成に向け，都市の循環システムを把握することが重要である．適応策や循環型社会の形成といった持続可能な社会の実現に向け，現在の災害状況の把握や想定される被害から将来予測を行う必要がある [3]．

将来予測について，災害廃棄物量の推計手法における研究が各所で行われている．推計手法については，環境省による災害廃棄物対策指針 [4]の資料がある．また，多島ら（2018）[5]では災害種類ごとの推計方法の現状についてまとめられている．水害に係る推計方法として平山ら（2005）[6]では，家屋の全壊・大規模半壊・半壊・一部損壊・床上浸水・床下浸水の被害において，それぞれ災害廃棄物発生量原単位を得ている．また，鬮巻ら（2015）[7]は過去の災害の実際値を基に，資材ストック量から廃棄物への転換係数を仮定して，災害廃棄物量を推計している．ここで資材ストック量の推計は，資材投入原単位と株式会社ゼンリンが販売している「建物ポイントデータ」を用いている．

これらの既往研究から，建築物のポリゴンデータを用い，想定される浸水深から災害廃棄物量の推計を行った研究は少ない．さらに，都市の廃棄物処理量を把握し，循環システムを考慮した研究は行われていない．そこで本研究では，建築物を対象とし，想定される浸水被害における物質循環システムへの影響を把握することを目的とする．ケーススタディとして愛知県名古屋市を対象地域とし，浸水深別被害率を用いて建築物の災害廃棄物量を推計し，名古屋市内における廃棄物の処理能力の推定を行う．また，算出された推計値の妥当性の検討を行う．

2. 研究方法

(1) 原単位法による建築資材ストック量の推計

本研究では Tanikawa et al.（2015）[8]の方法を用いて，建築資材ストック量を推計した．研究のフローを**図-1** に示す．建築資材ストック量の推計における原単位法（東岸ら，2008）[9]とは，各建築物の延床面積に単位面積当たりに投入される建築資材量（資材投入原単位）を乗じることにより，各建築物に蓄積されている建築資材ストック量を推計する方法である．

本稿では，株式会社ゼンリンが提供する「Zmap-TOWNII（2016）」を基盤データとして利用し，平川ら（2011）[10]による手法を用いてデータ補正を行った．統計情報を利用することで，ポリゴンデータに不足する階数，延床面積，構造，用途のデータを補正した．推計式を以下の式(1)に示す．

$$MS_{s,m} = TFA_s \cdot MI_{s,m} \quad (1)$$

$MS_{s,m}$：建物構造種 s である建築物の建築資材 m の蓄積量（建築資材ストック）（kg）

TFA_s：建物構造種 s である建築物の延床面積（m^2）

$MI_{s,m}$：建物構造種 s である建築物の単位延床面積当たりに投入される建設資材 m の投入量（資材投入原単位）（kg/m^2）

本研究では物質循環システムの把握において，統計データや既往研究によるインフラストラクチャー等のデータ [11]が充実している名古屋市をケーススタディとして設定した．

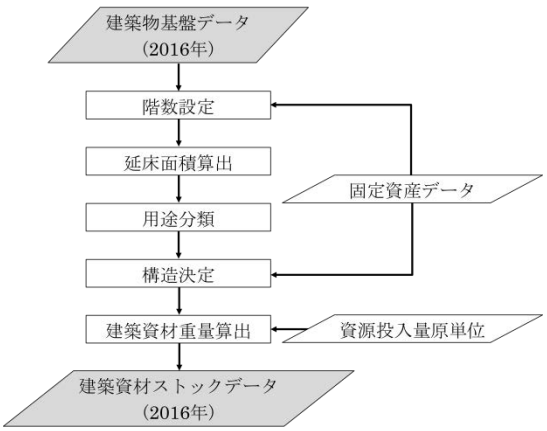

図-1 建築資材ストック量推計の研究フロー

(2) 浸水深別被害率による災害廃棄物量の推計

前項で建築資材ストック量を推計したのち，浸水深別被害率を用いて災害廃棄物量を推計した．本研究における災害廃棄物量とは，被災建築物の解体に伴って排出される屋根，外壁，構造材等を含む解体廃棄物を中心とした解体ごみを対象とする．研究のフローを**図-2** に示す．

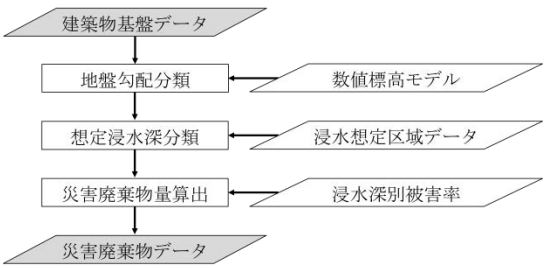

図-2 災害廃棄物量推計の研究フロー

浸水深別被害率は国土交通省の治水経済調査マニュアル[12]を参考にした（**表-1**）．この被害率を用いるために，GIS（Geographic Information System／地理情報システム）を用いて，国土地理院が提供する数値標高モデル（5mメッシュ）[13]から地盤勾配を算出し，3 つのグループに分類した．また，国土交通省がオープンデータとして提供する浸水想定区域データ[14]（**図-3**）を用いて，建築物を想定浸水深別に分類した．災害廃棄物量は，前項で推計した建築資材ストック量に，**表-1** の浸水深別被害率を乗じることで算出した．推計式を以下の式(2)に示す．

$$DMS = MS \times \frac{d}{3f} \times r \qquad (2)$$

ここで，DMS：水害廃棄物発生量（ton），MS：建設資材ストック量（ton），f：建築物の階数，d：浸水深（m），r：浸水深別被害率とする．建築物の 1 階の高さは 3m と仮定する．また，浸水深が建築物の高さを超える（$d > 3f$）場合は，$\frac{d}{3f} = 1$とする．浸水深は想定浸水深が 2.0～5.0m は 3.5m，それ以外の浸水深は想定最大浸水深を用いた．

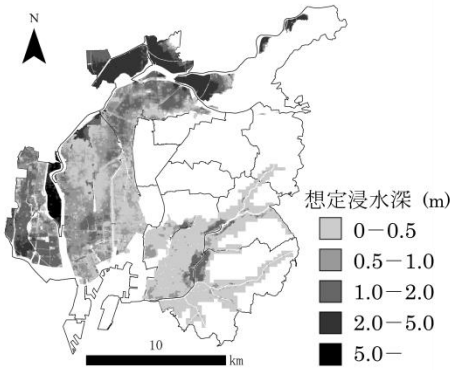

図-3 浸水想定区域

表-1 浸水深別被害率

地盤勾配＼想定浸水深	0～0.5m	0.5～1.0m	1.0～2.0m	2.0～5.0m	5.0m以上
1/1000未満	0.189	0.253	0.406	0.592	0.800
1/1000～1/500	0.219	0.301	0.468	0.657	0.843
1/500以上	0.235	0.325	0.499	0.690	0.865

(3) 名古屋市における廃棄物処理能力の把握

廃棄物処理施設の位置及び処理能力は，名古屋市が提供する産業廃棄物処分業者名簿[15]を用いた．本稿では名古屋市内における中間処理施設を対象とした．中間処理施設とは，廃棄物を最終処理する前に分別や焼却等を行い，最終処分量を低減する施設である．推計された災害廃棄物量と処理能力の結果から，災害時における都市の物質循環システムへの影響を検討した．

(4) 災害廃棄物量の妥当性の検討

過去に起きた災害の被害データを用い，本研究の推計手法による災害廃棄物量の推計精度を検討した．対象とする災害は，国土地理院が提供する浸水推定段彩図[16]のデータが入手可能である，平成 30 年 7 月豪雨とする．被災地の中でも名古屋市内を流れる庄内川と同じ一級河川の氾濫によって被害を受けた，岡山県倉敷市真備町を対象地域とする．

対象地域における推計値と実績値を比較することで妥当性について検討した．災害廃棄物量の推計は，前項で述べた推計方法と同様の推計フローで，浸水想定区域データを浸水推定段彩図に変更して推計を行った．本災害における実績値は，倉敷市の災害廃棄物処理実行計画[17]で報告されている値を用いた．また，平山ら（2020）[18]の推定結果では，本災害における片付けごみを含んだ廃棄物量の推計において，処理実行計画の 1.1～1.3 倍程度の推計値を算出し，高い推計精度を確保できている．これを踏まえ，本研究の推計値と倉敷市の実績値，平山らの推計値を比較した．なお，精度の検討については，「Zmap-TOWNII」の基盤データと浸水深別被害率の 2 点に着目する．

3. 結果と考察

(1) 名古屋市における災害廃棄物量の推計結果

名古屋市における 1km メッシュ単位で推計した建築資材ストック量及び災害廃棄物量を**図-4**，**図-5** に示す．建築資材ストック量は 253 百万トンと推計された．名古屋駅がある名古屋市の中心部においてストック量が最も多く，この地域を中心にストック量が分布していることがわかる（**図-4**）．また，災害廃棄物量は名古屋市全域の建築資材ストック量の 5.3%にあたる 13.4 百万トンと推計された．名古屋市の西側において災害廃棄物量が多く分布し，南西の中川区では全体の 23.7%にあたる 3.2 百万トンが推計された（**図-5**）．浸水深・構造別廃棄物量の結果を**図-6** に示す．浸水深別では想定浸水深 2.0～5.0m において災害廃棄物量が最も多く，全体の 55.5%であった．また，構造別では廃棄物量の 58.9%を RC 造が占めた．

災害廃棄物量の分布は，建設資材ストック量の分布と異なっていた．また，**図-3** の浸水想定区域の分布では，名古屋市の北東から南西にかけて流れる庄内川及び新川の氾濫により，北西と西側において 5m 以上の浸水が想

定されている．しかし，名古屋市の北東において廃棄物量はあまり発生していない．以上のことから，ストック量と浸水深データを空間的に重ね合わせることは，災害時の物質循環を考える上で重要であることが示唆される．また，本研究で用いた被害率は建築物の構造や用途等が考慮されておらず，廃棄物量の過小，過大評価が考えられる．建築物の構造によって災害の耐久性が異なることから，構造別の被害率を考慮すると，異なる結果が得られると考える．また，物質循環システムを考える上では，資材ごとの廃棄量を把握することが必要であると考える．

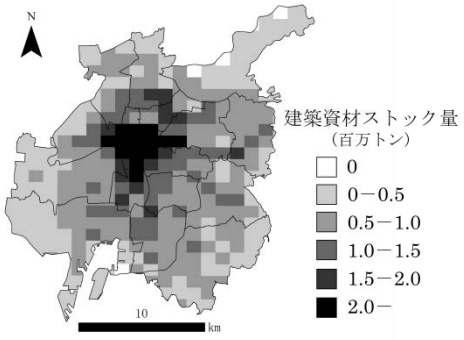

図-4　建築資材ストック量の分布

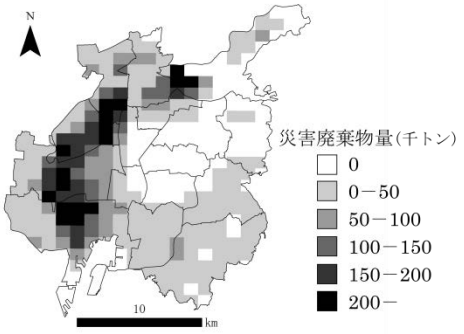

図-5　災害廃棄物量の分布

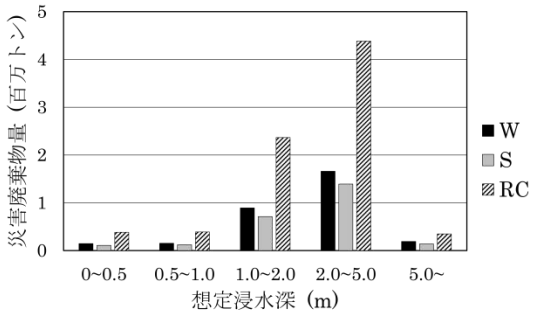

図-6　浸水深・構造別廃棄物量

⑵ 循環システムの把握

名古屋市における中間処理施設の分布及び 1 日あたりの処理能力の結果を**図-7** に示す．中間処理施設数は 254 施設，1 日あたりの処理能力は 10.8 万トンと推計された．前項で算出された災害廃棄物量の結果から，想定される浸水被害が生じた場合，災害廃棄物のみの処理に 130 日程度必要であると考えられる．しかし，通常時の産業廃棄物の処理量を考慮していないことから，実際には処理が長期化すると示唆される．

想定される災害が起きた際には，廃棄物処理施設も被害を受けることが考えられる．浸水想定区域と中間処理施設の分布から，浸水被害が想定される施設は 143 施設と推計された．このことから，全体の 16.3%にあたる 1.8 万トンの処理能力が影響を受ける可能性が考えられる．また，そのうち浸水深 1.0m～5.0m において，67 施設，0.9 万トンの処理能力がある．災害が生じた場合，廃棄物の処理にさらに時間を有すると示唆される．

中間処理施設で処理する廃棄物は，施設ごとに種類が異なり，1 つの施設で複数の種類の廃棄物を処理する施設もある．資材ごとの処理能力では，がれき類が 1 日当たり 1.5 万トンと最も多かった．このように処理する資材の種類によっても処理能力が異なることも処理期間の検討には必要であると考える．資材ごとの災害廃棄物量とその資材における処理能力から，災害時における処理期間を複合的に検討することが重要である．

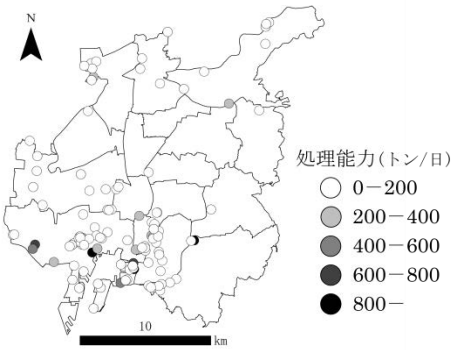

図-7　処理施設の処理能力と分布

⑶ 用いたデータの妥当性の検討

平成 30 年 7 月豪雨で被害を受けた岡山県倉敷市真備町の災害を基に，推計値と実績値の比較結果を**表-2** に示す．「Zmap-TOWNII」を用いた推計では，被害棟数は 5,235 棟と推計され，実際被害は 5,977 棟と 10%程の差が見られる．本研究で用いた「Zmap-TOWNII」は 2016 年のデータであり，災害が生じたのは 2018 年であることから 2 年間で増加した建築物を考慮できていない点が考えられる．また，推計値は浸水域にあるストック推計さ

れた建物数を示しており，「Zmap-TOWNII」には無壁舎や目標物等のストック量が考慮できていないため，被害棟数に差が生じたと示唆される．このケーススタディにおいて，被害棟数については実績値と差があるが比較的よい精度で推計できたのではと考える．

解体廃棄物量に関しては，推定値 418 千トン，実績値 247 千トンと実績値に対して 1.7 倍大きく推計された．このことから，浸水深別被害率は過大評価されていることが示唆される．真備町では木造の建築物が 90%を占めており，被害棟数のうち 78%の建築物が全壊という被害であった．構造別では木造が最も被害率が高いことから，木造の建築物から排出される廃棄物量が最も多いことがわかる．本研究で用いた浸水深別被害率は，構造を考慮していないことから，S，RC 造の廃棄物量が過大評価されたことが考えられる．また，床下浸水や床上浸水等の小規模な被害についての被害率が高い，上部構造と基礎を加味していないといったことも，推計値が実績値より大きくなった要因として考えられる．このように過去の災害や既往研究の研究手法との比較を行い，被害を仮定することで，被害率の妥当性の検討していく必要がある．

表-2 真備町における推計値と実績値の比較

区分	実績値	本研究	平山ら（2020）
被害棟数（棟）	5,977	5,235	5,709
解体廃棄物量（千トン）	247	418	－
廃棄物量（千トン）	350	－	343

4. おわりに

(1) 結論

本研究では，都市の物質循環システムへの影響を把握するために，名古屋市を対象として想定される浸水被害から災害廃棄物量を推計を行った．推計した値と廃棄物処理能力及び位置情報から，災害時における地域の循環システムを把握した．さらに，過去の災害を基に，使用したデータ及び推計値の妥当性について検討した．

災害廃棄物量の推計には，原単位法によって推計された建築資材ストック量と浸水深別被害率を用いた．推計の結果，災害廃棄物量は名古屋市全域の建築資材ストック量 253 百万トンの 5.3%にあたる，13.4 百万トンと推計された．災害廃棄物量の分布から，ストック量と浸水深データを空間的に重ね合わせることは，災害時の物質循環を考える上で重要であることが示唆された．

中間処理施設の分布から，名古屋市における 1 日あたりの処理能力は 10.8 万トンと推計され，災害廃棄物のみの処理に 130 日程度必要である．しかし，通常時の産業廃棄物の処理量を考慮していないこと，廃棄物処理施設も被害を受ける可能性があることから，処理期間の長期化が示唆された．

推計値の妥当性については，「Zmap-TOWNII」の基盤データと浸水深別被害率の 2 点に着目した．「Zmap-TOWNII」については，被害棟数の結果から比較的利用可能なデータであることが示唆された．浸水深別被害率は解体廃棄物量の比較結果から，主に S，RC 造の廃棄物量の過大評価が示唆された．

(2) 今後の課題

今後の課題としては，推計地域の拡大，浸水深別被害率の妥当性の検討，循環システムにおける新規着工を加味することが必要である．本研究の推計手法は他の地域への汎用性は高いと考えられる．都道府県単位，日本全国へと推計地域を拡大し，将来の持続可能な社会づくりに向け有用な資料になると考える．また，より詳細な将来推計に向けて，本研究で用いた浸水深別被害率の妥当性の検討を進めていく必要がある．具体的には，建築物の構造別，床下浸水や床上浸水等の小規模な被害，上部構造と基礎の構造別を加味することが挙げられる．特に本研究で S，RC 造の廃棄物量の過大評価が示唆されたことから，建築物の構造を考慮することが望ましい．そのために，過去の災害実績データと推計値を比較することが有効である．さらに，本研究は災害時における都市の循環システムのアウトプットのみの把握であり，インプットを加味していない．堤防の嵩上げや建築物の新規着工等による投入ストック量を推計し，災害による都市の物質循環システムへの影響を把握していく必要がある．

謝辞：本研究は，（独）環境再生保全機構の環境研究総合推進費（JPMEERF20S11816, JPMEERF20201003）により実施した．

参考文献

1) 気候変動適応情報プラットホーム：年降水量データ，2020.
2) 気候変動適応情報プラットホーム：斜面崩壊発生確率データ，2020.
3) 川越清樹，江坂悠里，伊藤圭祐，肱岡靖明：気候モデルを用いた将来の土砂災害被害額推計，土木学会論文集 G（環境），第 70 巻，第 5 号，pp.I_167-175，2014.
4) 環境省：災害廃棄物対策指針（改訂版），2018.
5) 多島良，平山修久，高田光康，宗清生，大迫政浩：災害対応マネジメントの観点からみた災害廃棄物発生量推計方法の現状と展望，廃棄物循環学会論文誌，第 29 号，pp.104-118，2018.

6) 平山修久，河田惠昭：水害時における行政の初動対応からみた災害廃棄物発生量の推定手法に関する研究，環境システム研究論文集，第 33 巻，pp.29-36，2005.
7) 靏巻峰夫，山本祐吾，吉田登：地域の資材ストック量にもとづく災害廃棄物量の予測に関する基礎的検討，土木学会論文集 G（環境），第 71 巻，第 6 号，pp.II_241-251，2015.
8) Hiroki T., Tomer F., Keijiro O., and Kenji S.: The Weight of Society Over Time and Space, A Comprehensive Account of the Construction Material Stock of Japan 1945–2010, Journal of Industrial Ecology, Vol.19-5, pp.778-791, 2015.
9) 東岸芳浩，稲津亮，内藤瑞枝，谷川寛樹，橋下征二：都市構造物における経年的資材投入原単位の推計に関する研究，廃棄物学会研究発表会講演論文集，第 19 巻，pp.147-149，2008.
10) 平川隆之，黒岩史，鬼頭祐介，田中健介，谷川寛樹：東日本大震災により失った建設ストックの推計，日本 LCA 学会誌，第 7 巻，第 4 号，pp.374-378，2011.
11) 奥岡桂次郎，野中一鴻，谷川寛樹：名古屋市中心部における 4d-GIS を用いた建築物滞留年推計モデルの構築と物質ストック分析，第 74 巻，第 6 号，pp.II_267-273，2018.
12) 国土交通省：治水経済調査マニュアル（案），2020.
13) 国土地理院：数値標高モデル（5m メッシュ），2019.
14) 国土交通省：浸水想定区域データ（愛知県），2012.
15) 名古屋市：産業廃棄物処分業者名簿，2020.
16) 国土地理院：浸水推定段彩図，2018.
17) 倉敷市：平成 30 年 7 月豪雨に伴う倉敷市災害廃棄物処理実行計画，2019.
18) 平山修久，中村晋一郎，福和伸夫，野村一保：災害初動期における浸水推定図を用いた災害廃棄物量の推定手法，第 31 回廃棄物資源循環学会研究発表会講演原稿，2020.

(Received August 23, 2021)
(Accepted?, 2021)

FLOOD DISASTER WASTE ESTIMATION AND ITS TREATMENT CAPACITY ASSESSMENT
-A CASE STUDY OF BUILDING IN NAGOYA CITY-

Sae MIZUSHIMA, Ruirui ZHANG, Jing GUO, Hiroaki SHIRAKAWA and Hiroki TANIKAWA

In recent years, flood damage by heavy rain is spreading in Japan. And in the future, there is concern of enormous damage due to climate change. In order to adapt to expanding disasters, the amount of flood damage waste should be estimated from the estimated damage data and urban recycling system should be understood. In this study, Nagoya City, Aichi Prefecture as a case study, the purpose was to understand the impact on city recycling system in the event of possible damage. The amount of flood disaster waste in buildings was estimated and the capacity assessment in Nagoya city was estimated. As a result of the estimation, there were 13.4 million tons of flood disaster waste, whichi is 5.3% of the total amount of building material stock in Nahoya city. In the evaluation by inundation depths, the amount of waste was estimated to be 55.5% of damage waste at the inundation depth 2.0 to 5.0 m. The waste capacity was estimated to be 108,000 tons per day, the processing period was estimated to be about 130 days. However, in the event of disaster, damage to the treatment facility is expected, suggesting a longer treatment period.