

## 埼玉県内緑地の生産力に基づく大気浄化量の推定

小川 和雄

### 要 旨

埼玉県における緑地の適性配置の基礎資料を得るため、市町村ごとに植物の炭水化物生産量を推定することにより、CO<sub>2</sub>吸収量及びNO<sub>2</sub>、SO<sub>2</sub>吸収量を算出した。

その結果、県面積の33.2%にすぎない森林が、全緑地が吸収するCO<sub>2</sub>量の60%、NO<sub>2</sub>量の65%、SO<sub>2</sub>量の63%を吸収し、同じく県面積の22.4%の耕地はCO<sub>2</sub>量の32%、NO<sub>2</sub>量の27%、SO<sub>2</sub>量の28%を吸収した。しかし、1965年以降、県内の緑地面積は主として耕地面積の減少によって、21%も減少しており、大気汚染物質吸収量も年々減少してきている。

また、1985年に埼玉県内で排出されたNO<sub>x</sub>、SO<sub>x</sub>量に対し、1990年の全緑地のNO<sub>2</sub>、SO<sub>2</sub>吸収量はそれぞれ7%、11%程度と考えられる。

### はじめに

これまで、沿道緑地帯の大気汚染低減効果について調査し、沿道緑地帯が、その構造に起因する遮閉効果により汚染物質を上空に拡散させ、最大20%近くもNO<sub>2</sub>濃度を低減させることを明らかにしてきた<sup>1-4)</sup>。また、沿道に植栽された植物によるNO<sub>2</sub>の吸収量は、道路を走行する自動車からの排ガスがあまりにも多量のため、例えば国道17号（交通量43000台/日）沿いの上尾運動公園の幅約14mの緑地帯では1%程度にしかならないことも示した<sup>1-2)</sup>。

ところで、近年、緑地の重要性が盛んに強調されているが、その根拠資料は乏しく、植物の大気浄化量についても、定量的に、どれだけ汚染物質を吸収浄化しているのかを推定した報告はきわめて少ない。わずかに、CO<sub>2</sub>に関して岩城<sup>5)</sup>及び清野、内嶋<sup>6)</sup>が、NO<sub>2</sub>等の汚染物質を含めた例は三宅<sup>7)</sup>及び松尾<sup>8)</sup>が報告しているにすぎない。

筆者はかねてより都市における緑地の環境調節機能の数値化を試みており、その一つとして、植物の光合成や物質生産に関する知見等を利用して埼玉県内の大気浄化量を試算した。以下に結果を示し、緑の適性配

置等の基礎資料に供するものである。

### 1 植物による大気中の汚染物質の吸収

植物は光合成を行い、CO<sub>2</sub>を吸収して炭水化物を合成し生長する。CO<sub>2</sub>は葉に分布している気孔から取り込まれるが、単位葉面積あたりのCO<sub>2</sub>吸収速度はどれだけ気孔が開いているか、細胞液に溶けこんだCO<sub>2</sub>がどれだけ速く利用され気孔底から消失していくか、にかかっている。これは他の汚染物質についても当てはまるが、その場合にはさらに、細胞液への溶けやすさという要素が加わる。汚染ガスの濃度が比較的低い場合、ガスによって気孔開度は変化しないので、植物によるガス吸収速度はガス濃度に比例し、光合成によるCO<sub>2</sub>吸収速度との比も一定の関係にあると考えられる。したがって植物の光合成速度、すなわちCO<sub>2</sub>の吸収速度が分かれば推定することが可能となる。

### 2 CO<sub>2</sub>吸収量等の推定

CO<sub>2</sub>吸収量の推定方法は大きく分ると2つある。1つ

は単位葉面積当りのみかけの光合成速度を計測して、葉面積を乗じる方法、もう1つは乾物生長量からCO<sub>2</sub>とC<sub>6</sub>H<sub>10</sub>O<sub>5</sub>の重量比で算出する方法である。本稿では県レベルの大面积の大気浄化量を問題にしているため、各種関連データの得られる、後者の方法を用いた。特に緑地の主要部分を占める森林や耕地の面積は比較的正確に把握されており、その乾物生産量もよく把握されている。したがって、これらのデータを用いることで、概ね真値に近いCO<sub>2</sub>吸収量を推定することができる。

なお、植物のエネルギーは呼吸によって賄われているので、前記の乾物生産量に関する値は呼吸による消耗分を差し引いた純生産量（Pn：Net Production）であり、実際の吸収量は、これに呼吸量を加えた総生産量（Pg：Gross Production）である。したがって、植物によるCO<sub>2</sub>吸収量は純生産量から換算できるが、他の汚染物質の吸収量を推定するベースとなるのは総生産量である。

1990年を基準とした、緑地のCO<sub>2</sub>、NO<sub>2</sub>、SO<sub>2</sub>吸収量を以下、次のとおり算出する。

- (1) 緑地種類別の面積の推定
- (2) 既存データによる緑地種類別の単位面積当り純生産量、総生産量の推定
- (3) 上記(1)(2)を乗じてCO<sub>2</sub>吸収量を算出する。
- (4) CO<sub>2</sub>とNO<sub>2</sub>、SO<sub>2</sub>間の吸収速度の比及び濃度から(3)をもとにNO<sub>2</sub>、SO<sub>2</sub>吸収量を算出する。

## 2-1 埼玉県内の緑地面積の把握

緑地を大まかに分類すると森林、耕地、都市公園、それに都市の中の雑多な緑に区分できる。特に埼玉県

では前二者が大半を占めており、それをいかに精度よく把握するかが重要である。また、そのデータが継続して得られれば吸収量の推移も把握できることになる。こうした条件を備えたものは、耕地面積では「世界農業センサス」<sup>9)</sup>であり、これを用いた。同「センサス」は昭和13年に始まって、昭和25年以降は5年ごとに多数の調査員が農家に聞き取り調査を行っており、市町村ごとに耕地種類別にまとめられている。

森林面積は埼玉県林務課が毎年（昭和63年までは隔年）報告している「森林・林業と統計」<sup>10)</sup>を利用した。この統計には都市域の雑木林等も含まれており、国有林以外の森林面積が市町村ごとに、樹種ごとに把握できる。国有林面積は秩父営林事務所調べのデータをもとに市町村に配分した。

都市公園面積は「さいたまの都市計画」<sup>11)</sup>によった。原野及びその他の面積は、全体の精度への影響は小さいので「埼玉県統計年鑑」<sup>12)</sup>の用途地域別面積を利用した。以上のデータをもとに得られた1990年における埼玉県内の緑地種類別面積を表1に示した。耕地面積は85004haで県面積の22.4%、森林面積は126157haで33.2%、都市公園等を含め、まとまった緑地（家庭の緑は除く）は合計217626haで57.3%と推定された。

## 2-2 緑地種類別の純生産量及び総生産量の推定

緑地種類別に推定した純生産量及び総生産量を表2に示した。算出根拠は次の通りである。

これまで、岩城<sup>9)</sup>は植物の生産量を推定するため植生区分ごとに単位面積あたりの純生産量を整理している。また、清野と内嶋<sup>9)</sup>は農業気象学的なモデル計算により緑地の純生産量を推定しており、両者の結果は比較的よく一致している。そこで、ここでは岩城の植生区分ごとの純生産量データを基礎として、埼玉県の樹種構成、樹齢構成、緑被率等を加味して補正するとともに、耕地については植生区分を細分化して村田<sup>13)</sup>の提起している純生産量データを用いた。

一方、総生産量は吉良<sup>14)</sup>の提起しているPn/Pgを用いて算出した。その他、単位面積（1ha）あたり、1年間の純生産量決定にあたっては以下の要素を勘案して設定した。

- (1) 針葉樹：人工林の純生産量<sup>13-14)</sup>は樹齢や生育地により大きく異なる。スギの測定例は15～25tであるが、関東地方の成木では18t程度と考えられる。ヒノキは15～20tで平均16t程度、マツでは10～20

表1 埼玉県内の緑地種類別面積（単位：ha）

緑地種類	面積	緑地種類	面積
田：稲のみ	32,466	竹林	482
二毛作	7,067	無立木地	878
休耕地	4,562	針葉樹人工林	59,428
稲以外	5,366	針葉樹天然林	10,928
畑：普通畑	22,209	広葉樹林	54,441
無作付	4,406	（森林計）	126,157
牧草地	475	都市公園	2,471
樹園地	8,453	原野	3,994
（耕地計）	85,004	合計	217,626

表2 緑地種類別純生産量及び総生産量

(ton / ha / 年)

緑地種類	P n	P n / P g	P g
田：稲のみ	11	0.6	18
二毛作	18	0.6	30
休耕田	5	0.6	8
畑：普通畑	12	0.6	20
無作付	5	0.6	8
牧草地	8	0.6	13
樹園地	10	0.5	20
竹林	10	0.5	20
無立木地	8	0.5	16
針葉樹人工林	17.2	0.3	57
針葉樹天然林	11	0.3	37
広葉樹林	11.9	0.3	25
都市公園	5.6	0.5	11
原野	5	0.5	10
宅地	0.8	0.5	1.6
その他	1.6	0.5	3.2

注) 数値は乾物量表示

Pn：純生産量，Pg：総生産量

tで平均15 t程度である。

埼玉県の人工針葉樹<sup>10)</sup>は樹齢40年未満が約80%と若いので成木の値を採用した。樹種比率は、スギ：ヒノキ：マツ=65：25：10であり、この割合で加重平均して針葉樹人工林を17.2 tとした。一方天然林の針葉樹は樹齢が高いため純生産量は小さく、岩城<sup>5)</sup>の提示した11 tを用いた。

(2) 広葉樹：常緑樹<sup>13-14)</sup>は15~25 t程度で平均20 t程度、落葉樹<sup>13-14)</sup>は5~15 tで平均11 t程度である。

1980年の第1回緑の国勢調査<sup>14)</sup>では埼玉県の常緑樹対落葉樹の比率は1対9であり、これで重み付けして平均11.9 tとした。

(3) 都市公園：「埼玉県緑の長期総合計画」の1980年の航空写真<sup>15)</sup>によれば、草生地と樹林地を併せて66%の緑被率であり、当該地域の面積あたり純生産量8~9 tに乗じて5.6 tとした。

(4) 宅地：同上航空写真<sup>15)</sup>による地域別緑被率によれば、宅地付近の緑被率は約10%である。面積あたりの純生産量は都市公園の平均値8 tとし、これに宅地の緑地率を乗じて、0.8 tとした。

(5) その他：原野、河川敷等の緑被率は約20%(同上)なので、都市公園と同一生産量8 tに乗じて1.6 tとした。

## 2-3 CO<sub>2</sub>及びNO<sub>2</sub>、SO<sub>2</sub>吸収量の推定

### (1) CO<sub>2</sub>吸収量の算出

植物によるCO<sub>2</sub>固定量は植生別の単位面積あたり純同化量に植生面積を乗じることによって得られる乾物生産量をもとに算出できる。植物によって合成される多糖類(乾量)はC<sub>6</sub>H<sub>10</sub>O<sub>5</sub>で表されるからCO<sub>2</sub>との比例計算で算出される。即ち、6 CO<sub>2</sub>/C<sub>6</sub>H<sub>10</sub>O<sub>5</sub>=1.63であるから乾物生産量を1.63倍すればCO<sub>2</sub>吸収量が得られる。

### (2) NO<sub>2</sub>、SO<sub>2</sub>吸収量の推定

植物の葉は気孔からCO<sub>2</sub>を吸収し、水蒸気を放出する。この時に同時に汚染物質も取り込まれる。これは受動的なガス拡散過程なので次式が成立する。

$$\text{純光合成速度} = K_{CO_2} \times C_{CO_2}$$

$$\text{ガス吸収速度} = K_{gas} \times C_{gas}$$

$$\text{蒸散速度} = K_{H_2O} \times \Delta H_2O$$

K：コンダクタンス，C：大気中のCO<sub>2</sub>及びガス濃度， $\Delta H_2O$ ：葉内外の水蒸気濃度差

上式からK<sub>gas</sub>とK<sub>CO<sub>2</sub></sub>との関係を求めておけばCO<sub>2</sub>吸収量からガス吸収量が求められる。ここで、K<sub>gas</sub>とK<sub>CO<sub>2</sub></sub>の関係は

$$K_{gas} / K_{CO_2} = (K_{gas} / K_{H_2O}) \times (K_{H_2O} / K_{CO_2})$$

と分解でき、K<sub>gas</sub>/K<sub>H<sub>2</sub>O</sub>とK<sub>H<sub>2</sub>O</sub>/K<sub>CO<sub>2</sub></sub>は既存の報告や実測で求められる。これをもとに三宅<sup>7)</sup>は、総生産量からガス吸収量を簡便に推定する次のモデルを提案している。

$$U_{gas} = K_{gas} \times C_{gas} \quad U \text{はガス及びCO}_2 \text{の吸収量}$$

$$U_{CO_2} = K_{CO_2} \times C_{CO_2} \quad \text{となり、}$$

$$\text{これより } (U_{gas} / U_{CO_2}) = (K_{gas} / K_{CO_2}) \times$$

$$(C_{gas} / C_{CO_2})$$

$$\text{ここで } U_{CO_2} = 1.63 \times Pg,$$

CO<sub>2</sub>濃度を350ppmとすると C<sub>CO<sub>2</sub></sub>=0.63μg/cm<sup>3</sup>であるから

$$U_{SO_2} = 20.7 \times C_{SO_2} \times Pg \dots \text{①}$$

$$U_{NO_2} = 15.5 \times C_{NO_2} \times Pg \dots \text{②}$$

ただし、Cの単位はμg/cm<sup>3</sup>とする。

この①②式により、SO<sub>2</sub>、NO<sub>2</sub>濃度が分かれば緑地種類ごとのSO<sub>2</sub>、NO<sub>2</sub>吸収量を推定することができる。

表3に市町村ごとに算出した埼玉県内の緑地による大気汚染物質吸収量のまとめを示した。SO<sub>2</sub>、NO<sub>2</sub>濃度は各市町村に設置されている一般環境局の常時監視測定値<sup>16)</sup>を用い、常時監視局のない地域の濃度は近傍常時監視局2局の平均値とした。

以上の結果によれば、県土の中で33.2%にすぎない

表3 埼玉県内の緑地による大気汚染物質吸収量

区分	面積 (%) (ha)	純生産量 (ton)	総生産量 (ton)	大気汚染物質吸収量 (ton)		
				CO <sub>2</sub> (%)	NO <sub>2</sub>	SO <sub>2</sub>
田圃	49,461 (13.0)	571,538	940,220	931,606 (19.1)	586	301
畑地	27,090 (7.1)	292,354	485,631	476,538 (9.8)	308	150
樹園地	8,453 (2.2)	84,528	169,056	137,781 (2.8)	108	51
森林	126,157 (33.2)	1,802,062	5,176,440	2,937,360 (60.1)	2,438	1,114
公園	2,471 (0.7)	13,842	27,190	22,563 (0.5)	19	10
その他	166,302 (43.8)	231,716	463,432	377,697 (7.7)	296	148
全県	379,934 (100.0)	2,996,040	7,261,969	4,883,546 (100.0)	3,755	1,774

その他：耕地、森林、公園以外の全ての土地

森林は、全緑地が吸収するCO<sub>2</sub>量の60%、NO<sub>2</sub>量の65%、SO<sub>2</sub>量の63%を吸収していることになる。また、県土の22.4%の耕地は32%のCO<sub>2</sub>、27%のNO<sub>2</sub>、28%のSO<sub>2</sub>を吸収した。即ち、森林と耕地合わせて55.6%の面積で、全県の大気浄化量の90%以上を占めていることになる。

### 3 緑地による大気浄化量の推移

昭和40年以降の前記「世界農林業センサス」「林業統計」等の緑地面積データをもとに埼玉県内の森林と耕地面積の推移を図1に示した。1990年の森林、耕地の面積は全体として1965年以降21%減少したため、図2に示した大気汚染物質の吸収量も、CO<sub>2</sub>、NO<sub>2</sub>は1965年時点にくらべて19%減少している。特に環境濃度が改善されてきたSO<sub>2</sub>では61%の減少となった。

県内の緑地面積のうち、森林面積の減少はわずかであったが、耕地面積は1965年に比べて37.5%も減少している(図1)。そのため耕地による大気汚染物質吸収量は、農度と変化の少ないCO<sub>2</sub>やNO<sub>2</sub>ではその面積の減少分だけ吸収量が減少したが、かつて高濃度であったSO<sub>2</sub>の吸収量は濃度の低下した分だけ減少が著しく、1990年では1965年時点の30%に落ち込んでいる(図3)。

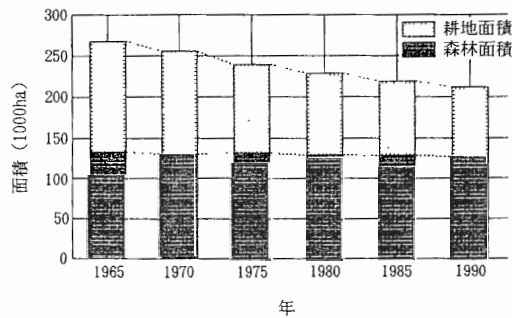


図1 埼玉県内の森林及び耕地面積の推移

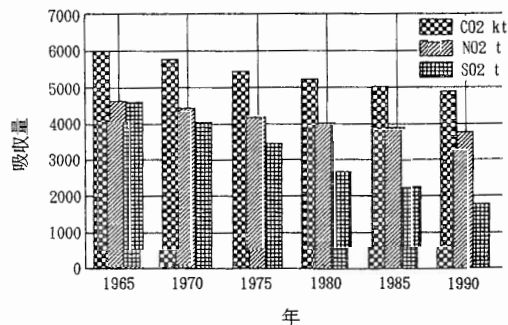


図2 埼玉県内の緑地による汚染物質吸収量の推移

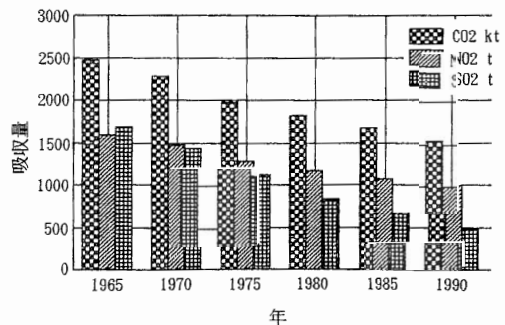


図3 耕地の汚染物質吸収量の推移

#### 4 埼玉県における汚染物質排出量と植物の吸収量

埼玉県におけるSO<sub>x</sub>、NO<sub>x</sub>排出量と植物の吸収量について、全県の推定値を表4に、市町村ごとの推定値を表5にした。埼玉県の緑地率は必ずしも小さくはないが、都市域の緑地面積が小さいため、県全体ではSO<sub>x</sub>、NO<sub>x</sub>排出量に対する植物の吸収量の割合はかなり小さく、1985年度のNO<sub>x</sub>排出量に対し、1990年の吸収量は7.4%、SO<sub>x</sub>も10.9%にすぎない。汚染ガスの濃度は緑地の少ない都市部と、森林に被われた周辺の山岳部とでは3倍以上も異なることもあるため、汚染物質の吸収効率はきわめて低い。今後は、山間部森林の放置等による質的劣化を防ぐとともに、都市部に緑地を大幅に拡大し、高濃度域で効率よく浄化していく必要がある。

表4 NO<sub>x</sub>、SO<sub>x</sub>排出量と植物の吸収量

(単位ton/年)

	排 出 量				植物による 吸収量	収 支 合 計
	自動車	固定発生源	家 庭	合 計		
NO <sub>x</sub>	30,845	18,459	1,745	51,049	3,755	7.4%
SO <sub>x</sub>	5,870	10,467	—	16,337	1,774	10.9%

備考) 排出量はS60年(大気保全課)

#### おわりに

植物による大気浄化は吸収によるものばかりではなく、吸着による部分もあるが、本稿の推定では大気浄化量に含めていないので、幾分、過少評価をしている。一方、植物の光合成は夏期に盛んであるが、CO<sub>2</sub>やNO<sub>2</sub>、SO<sub>2</sub>濃度はその時期に低いので、年平均値濃度を用いた本稿の計算では、それらの吸収量を過大評価しており、結局、両者が相殺されているものと考えられる。

なお、植物の一個体は短期的には大気を浄化するが、食物になったり、燃焼や自然の枯死、腐敗によって数カ月から数百年の貯蔵期間を経てCO<sub>2</sub>を放出してしまう。

植物を有効なCO<sub>2</sub>等の吸収源とするためには、絶えず緑地面積を増やし続けていく必要があることを認識し直す必要があるだろう。

表5-1(1) 市町村別緑地面積及び汚染物質吸収量等

市町村	緑地面積 (ha)	緑地率 (%)	緑地の汚染物質吸収量(t)			汚染物質排出量(t)			緑地の吸収割合(%)			人間の呼吸(t)	CO2消費量	植物のCO2放出量(t)	植物のCO2 放出量(t)与(%)*
			CO2	NO2	SO2	SOX	NOX	NO2	SO2						
1 川越	4518	41.4	95163	77.34	40.24	714.3	1906	4.1	5.6	73335	101771	69184	94.3		
2 熊谷	3366	39.1	82861	57.26	29.02	1317.2	5672	1.0	2.2	36455	50590	60240	165.2		
3 川口	1063	19.1	25617	26.84	16.62	513.9	1861	1.4	3.2	105013	145732	18624	17.7		
4 浦和	1736	24.4	39144	37.83	19.39	465.7	1605	2.4	4.2	98759	137063	28457	28.8		
5 大宮	2243	25.2	52319	43.03	22.38	610.5	1923	2.2	3.7	96064	133314	38036	39.6		
6 行田	3040	50.0	67414	42.85	22.75	286.1	604	7.1	8.0	19863	27564	49010	246.7		
7 秩父	11007	82.1	249371	257.55	159.52	360.0	3656	7.0	44.3	14927	20716	181293	1215		
8 所沢	2930	40.8	60874	62.53	28.05	209.9	902	6.9	13.4	72279	100306	44256	61.2		
9 飯能	10216	76.2	270296	316.42	139.99	118.2	402	78.8	118.5	17135	23780	196505	1146.8		
10 加須	3030	51.5	58800	37.26	23.08	244.0	701	5.3	9.5	13073	18143	42747	327.0		
11 本庄	1332	36.5	29044	19.29	6.83	164.4	388	5.0	4.2	14051	19500	21115	150.3		
12 東松山	2358	35.7	50799	42.18	17.04	293.7	844	5.0	5.8	19013	26386	36931	194.2		
13 岩槻	1940	39.0	40141	36.20	19.22	362.9	991	3.7	5.3	25811	35819	29183	113.1		
14 春日部	1354	35.7	28341	22.91	14.73	421.1	742	3.1	3.5	44967	62403	20604	45.8		
15 狭山	1810	36.4	38838	33.42	18.11	319.6	842	4.0	5.7	37923	52628	28236	74.5		
16 羽生	2869	48.4	57615	36.85	19.57	271.2	499	7.4	7.2	12819	17790	41886	326.7		
17 鴻巣	1734	48.7	37450	23.99	14.86	137.4	425	5.6	10.8	16730	23217	27226	162.7		
18 深谷	3119	44.3	66455	39.06	15.28	1207.1	740	5.3	1.3	22531	31267	48313	214.4		
19 上尾	1411	30.9	30770	22.96	11.64	484.3	908	2.5	2.4	46416	64414	22370	48.2		
20 与野	82	9.8	2624	2.45	1.14	177.0	340	0.7	0.6	18795	26083	1908	10.2		
21 草加	468	17.0	12590	12.43	6.71	296.9	1098	1.1	2.3	49455	68632	9153	18.5		
22 越谷	1839	30.8	38899	27.85	18.00	464.0	1270	2.2	3.9	67866	94181	28280	41.7		
23 蕨	35	6.9	1348	1.41	0.85	30.7	165	0.9	2.8	17838	24755	980	5.5		
24 戸田	171	9.5	5527	5.88	3.53	192.4	736	0.8	1.8	22026	30567	4018	18.2		
25 入間	1810	40.4	38021	39.89	14.25	259.5	741	5.4	5.5	32608	45252	27641	84.8		
26 鳩ヶ谷	60	9.8	2082	2.12	1.27	66.0	298	0.7	1.9	13734	19060	1514	11.0		
27 朝霞	411	23.1	9861	9.56	4.15	143.6	336	2.8	2.9	24293	33713	7169	29.5		
28 志木	193	21.6	4589	4.36	1.89	45.0	207	2.1	4.2	16280	22592	3336	20.5		
29 和光	223	19.2	5628	5.42	3.36	112.8	399	1.4	3.0	13764	19102	4091	29.7		
30 新座	691	30.2	15678	15.90	6.89	245.6	652	2.4	2.8	33136	45985	11398	34.4		
31 桶川	966	38.3	20723	15.10	7.65	95.7	318	4.7	8.0	16423	22791	15066	91.7		
32 久喜	945	37.7	19571	15.18	10.15	487.9	722	2.1	2.1	15415	21392	14228	92.3		

\* (注) 緑地のCO2寄与：人間の呼吸量に対して植物の放出する酸素量の割合