

12. 東京都心における連続干天とその特徴

Characteristics of Continuation Dry Weather Days in Tokyo Downtown

技術調査課 岩屋隆夫

1. はじめに

近年、人工地盤の上で行われる緑化が都区内の各所で行われている。こうした動向を受けて、土木技術センターの前身、土木技術研究所では2002年から2005年にかけて屋上緑化に関する実験を実施し、また2007年には護岸緑化の効果検証を開始することになっている。

ところで、人工地盤の上で行われる緑化で大きな課題となるのが、植生基盤の構造、そして水の供給の有無である。特に、後者の課題は深刻である。何故ならば、植生基盤を成す土壌層の下部は、人工地盤面であり、このため土壌層下部からの水の供給は全く得られないからで、この結果として、緑化植物が生育、維持するには、保水性の高い植生基盤を構築したり、或いは人為的な灌水を施したりする必要があるからである。

他方、人工地盤の緑化で用いられる植生基盤は、近年、改良が加えられてきた。例えば、保水性の高い人工土壌や貯水槽を付帯した植生基盤等の開発である。これら植生基盤の開発メーカーが発信する情報に共通することは、連続する無降雨に際し、人為的な灌水無しで緑化植物が維持されるとPRする点で、例えば、10日間の無降雨にも耐え得るとか、昨2006年夏期、無灌水仕様で枯れなかったのが大丈夫である、と表現される。

ここで問題とするのは、メーカー側の主張のなかに、無降雨の日数の評価が全く論じられていないところにある。つまり、10日間の無降雨、また2006年夏期の降雨状態とは、過去の降雨データに照らし

て、どのように位置付けられ、評価されるかが述べられていないのである。換言すれば、人工土壌の保水力や植生基盤下部の貯水構造の信頼性が論理的に説明されていないのである。

そこで、本論では、連続干天という概念を用いて、東京都心における無降雨の実態とその特徴を明示し、その結果を通して、人工地盤における緑化の課題、すなわち無灌水仕様の植生基盤について検証することにした。ここで言う連続干天とは、無降雨日の延べ日数のことである。ただ、この連続干天と関係するデータの整理は、今まで、ダム計画や農地の灌漑計画を行う際に行われてきたため、対象域は山間部や農村部に限定されていた。従って、屋上緑化や護岸緑化、高架下緑化等、人工地盤の緑化が最も必要とされる都心部の連続干天のデータは、十分な整理が行われて来なかったのである。加えて、連続干天日という概念は、無降雨の継続と直結する河川流況の変化、例えば、平水位の低下に伴う河川環境を検証する際に求められる重要なテーマなのである。そういう意味で、本論はこの点において新規性と独自性があると考えている。

なお、本論で使用する雨量データは、気象庁が提供する東京大手町の日雨量、1901年から2006年までの106年間のデータである。但し、気象庁データのなかで日雨量0mmとは、霧雨等、短時間雨量が視認されたものの、雨量高として計測出来なかった事例を含んでいるが、ここでは、日雨量0mmを無降雨日とみなし、また以下、述べる連続干天日数は、各年、各季節、各月における連続干天日数の極値と

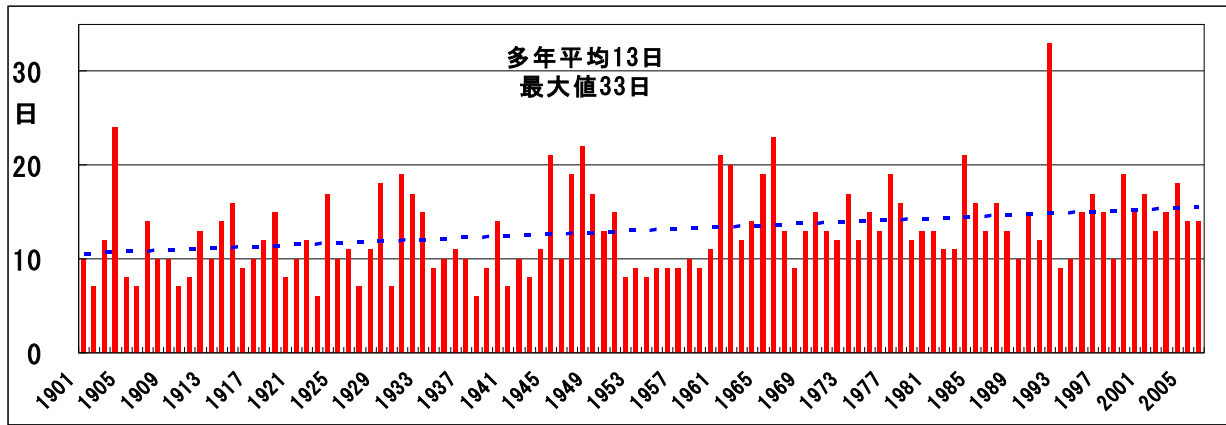


図-1 夏期（4～10月）における連続干天（無降雨）日数の変動

している。例えば、2006年の4月から10月までの7ヶ月間における連続干天を見ると、夏期暑熱期では7月26日から8月7日13日間に連続無降雨であるけれども、極値は10月8日から10月21日の間に記録された14日である。従って、2006年の夏期シーズンにおける連続干天日数は14日としている。ここで断りを入れておけば、連続干天が記録される前日における植生基盤の土壌層の含水率は、実は、連続干天の開始以降、緑化植物の枯死変化を左右する重要な因子である。しかし、含水率は土壌層の性状、例えば土構造や土性等、個別要素と関係が密で、土壌層が捕捉する降雨高の範囲、つまり有効雨量の範囲も土壌層ごと個々に異なる等、含水率は土壌層の個別性に大きく規定されていることから、ここでは、連続干天の開始日の前に記録された降雨高や土壌層の含水率は考慮していない。

2. 夏期における連続干天日数

さて、人工地盤の上の緑化にあって、最も過酷な条件を呈するのが夏期である。植物の生育期、つまり植物が最も水を欲する時期に発生する無降雨の連続である。

(1) 連続無降雨のケース

そこで、図-1に示すのは、夏期における連続干天日数の年変動である。但し、ここで言う夏期シーズンとは、植物の生育期間を考慮した4月から10月の7ヶ月間としている。

表-1を見て判るように、1901年から2006年までの106年間における夏期の連続干天日数は、線形

の変動近似曲線 ($y=0.0477x+10.411$) を引くと、1901年から若干、増加傾向にある。年を経る毎に、連続干天日数が増えているのである。そして、106年間の多年平均値が13日、最大値が1992年8月13日から9月14日かけて記録された33日となる。このように、東京都心における日雨量データを整理すると、緑化植物の生育期に相当する4月から10月の7ヶ月間の連続干天日数の多年平均値は13日となり、10日間の保水力がある人工土壌、つまり10日間、無降雨であっても土壌層が乾燥状態にならないとする人工土壌は、東京都心で無灌水利用するには不十分であることが判る。ここで、過去106年間に11日以上連続干天日数を記録した年を数えると、それは延べ60回を記録するので、10日間、無降雨であっても土壌層が乾燥状態にならないとする人工土壌を用いた緑化植物は、60/106、すなわち57%の確率で枯死状態に至ることになる。

他方、2006年夏期、無灌水仕様で枯れなかったとする植生基盤の場合、指標として挙げられる2006年の連続干天日数は14日と、多年平均値13日を超えている。従って、10日間、無降雨であっても土壌層が乾燥状態にならないとする人工土壌よりも、人工地盤の上で用いる植生基盤としては優れていることになる。因みに、15日以上連続干天日数を記録した年は過去106年間に延べ25回を数えるから、当該、植生基盤を用いた緑化植物は、 $(106-25)/106$ 、つまり76%の確率で生存状態が保証されることになる。言い換えれば、無灌水という降雨依存の仕様であっても、10年のうち8割近くの確率で枯死が回避

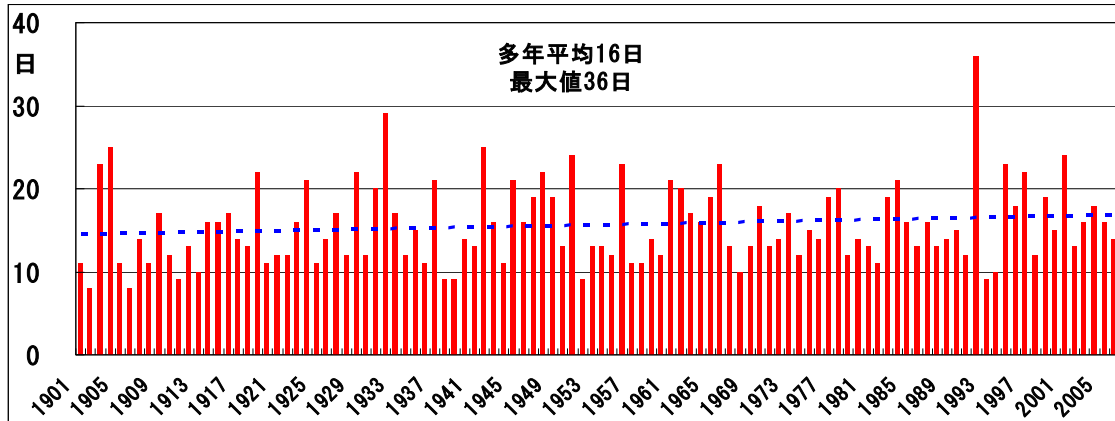


図-2 夏期（4～10月）における連続干天（日雨量1mmを除外）日数の変動

される、という評価が与えられるのである。

(2) 1mm降雨を無降雨とするケース

次に、1mm降雨を無降雨とみなしたケースを考えてみる。つまり、連続干天の翌日に与えられた日雨量が1mm以下のケースである。

実は、日雨量1mmと言った小雨の場合、降雨が土壌層へと確実に浸透するかどうかというのは、多々、問題がある。良く知られた事実として、土壌層が乾燥状態にあると、急激な降雨に対し土壌表面には表面張力が働き、結果、降雨は容易に土壌層へと浸透せずに、表面流として直接流出を起こしてしまう。実際、人工土壌を用いた2003年の屋上緑化システムの流出実験では、連続干天が6日間継続した翌7日目の9月3日に、7.5mm/10minという急激な強雨を記録した時、直後に初期流出が発生したのを確認している。これと同様、連続干天が6日間継続した翌日の8月27日、初期雨量0.05mm/10minが与えられた際、緑化システムの土壌層の体積含水率は全く変化を示さなかったことを確認している^{1)、2)}。

継続する連続干天の終期、植生基盤の土壌層の表面は確実に乾燥状態にあり、このため、この時に与えられる小雨は土壌層へと浸透するのが容易でないのである。しかし、地下浸透の開始を促す降雨高、すなわち有効雨量は、土壌層の性状や状態によって異なり、どの程度の降雨が有れば地下浸透を開始するかが明示出来ない

ので、ここでは、1mmの日雨量は全量が直接流出すると仮定する。図-2は、以上の条件設定、つまり1mmの日雨量が記録された日を無降雨日とみなした場合の連続干天日数の年変動である。

1mmの日雨量が記録された日を無降雨日とした場合、線形の変動近似曲線($y=0.0226x+14.375$)を引くと、1901年から2006年までの106年間の連続干天日数の年変動は、僅かに微増という具合になる。これもまた、年を経る毎に、連続干天日数が増えていることになる。そして、多年平均値は16日、最大値は1992年8月13日から9月17日かけて記録された36日となる。そして、過去106年間に11日以上連続干天日数を記録した年は延べ87回を数える。従って、10日間、無降雨であっても土壌層が乾燥状態にならないとする人工土壌に植栽された緑化植物は、87/106、すなわち82%という高率で枯死状態に至ることになる。

他方、2006年夏期、無灌水仕様で枯れなかったとする植生基盤の場合、指標として挙げられる2006年の連続干天日数が14日であるのに対し、106年間に15日以上連続干天日数を記録した年が延べ52回、この発生確率が49%であるから、2006年夏期に無灌水仕様で枯れなかったとする植生基盤の場合も、およそ5割の確率で枯死状態になると理解される。

このように、1mmの日雨量が記録された日を

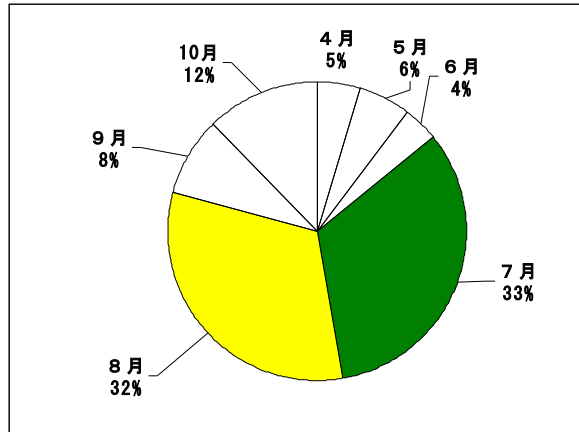


図-3 夏期（4～10月）における連続干天（無降雨）日数の極値の発生月

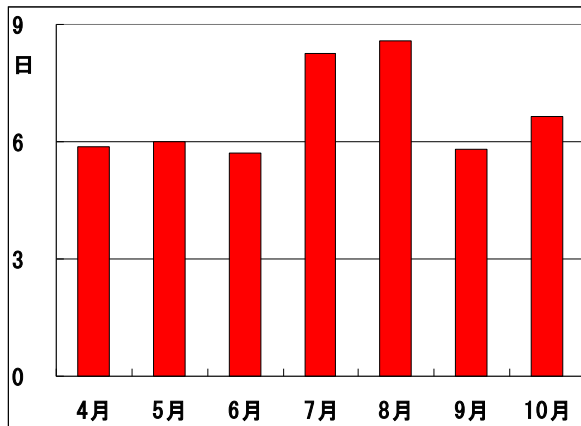


図-4 連続干天（無降雨）の月別、多年平均日数

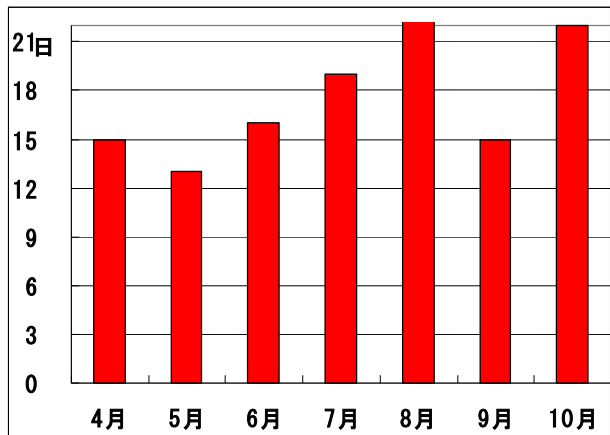


図-5 連続干天（無降雨）の月別、最大値

無降雨日とみなすと、得られる連続干天日数の多年平均値も大きくなる。20%確率で発生する連続干天日数は計算上、21日となってしまふ。従って、人工地盤の上で構築された緑化植物の生存率を8割の確率で保証するには、21日間の連続干天に耐え得る保水力を植生基盤の土壌に求めるか、或いは緑化植物が枯死することが無いような人為的な灌水の実施が求められることになるのである。

3. 月別の連続干天日数と梅雨明け後の連続干天日数

前章では、植物の生育期間を考慮して、4月から10月の間を夏期シーズンとみなし、当該期間における連続干天日数の実態と、これを通して、人工地盤の上に構築される緑化植物の植生基盤の課題を述べたところである。期間設定は、7、8月の夏期暑熱期に限定していないから、連続干天日数の極値の発生月も図-3に示すように、夏期暑熱期が65%を占め

る一方で、残り35%が4～6月と9～10月に記録される。では、1901年から2006年までの106年間の夏期シーズンにあって、連続干天日数を月別にカウントすると、どのような特徴があるか、つまり、連続干天日数は、何月にどの程度の数値を示すか、という視点からの整理で、これによって連続干天日数の月別の多年平均日数と最大値が明示できる。さらに、梅雨明け後の晴天は、連続干天日数という概念を通して見ると、どのように評価されるかを以下、考察を加える。特に、夏期暑熱期における晴天の継続状態を特徴付けるのが梅雨明け後の晴天で、一般に、梅雨明け十日と言われ、梅雨明け直後の天候が最も安定し、晴天が継続すると理解されているだけに、梅雨明け後の連続干天の評価は避けて通れない。但し、月別の連続干天日数には月を超えた干天日、例えば、8月20日から9月10日までの連続干天の場合、月別の連続干天日数は8月20日から8月31日までの連続12日と数え、月を越える日を加算しな

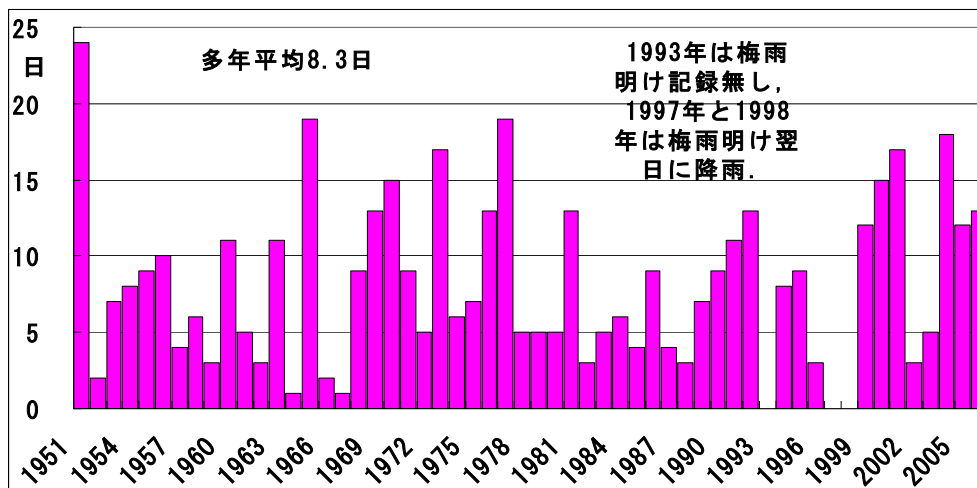


図-6 梅雨明け後の連続干天（無降雨）日数の変動

いので、得られる値は、必然的に、前章で挙げた夏期における連続干天日数より低めとなる。

本章は、以上の2点、すなわち月別の連続干天日数と梅雨明け後の連続干天日数の実態を明示し、その特徴を述べる。

(1) 月別の連続干天日数

過去、1901年から2006年の106年間にあって、4～10月の各月における連続干天日数の多年平均値と最大値は、図-4から図-5に示すとおりである。

まず、月別の連続干天日数の多年平均値は、図-4に見るように、7、8月が最大で、各々、8日強を記録する。他方、連続干天日数の最大値は、図-5のとおり、8月が最大の24日、これに10月の22日、7月の19日と続く。

このように、連続干天日数を月別に表現すると、植物の生育期間を考慮した4月から10月の間の夏期シーズンにあって、無降雨が最も連続して継続するのは、夏期暑熱期の7、8月であることが明らかになる。従って、植物の生育期間にあって、植生基盤の土壌層の保水力や灌水の有無に注意すべき時期は、当たり前のことではあるけれども、夏期暑熱期の7、8月であることになる。同時に、都市河川にあって、夏期渇水という流況の悪化を考える場合の指標が、この7、8月ということになる。

さて、ここで、夏期暑熱期の7、8月の2ヶ月に、20%の確率で発生する連続干天日数を計算すると、それは前者が11日、後者で12日となる。逆に言えば、温度条件が最も過酷な7、8月という条件下で、

人工地盤の上に構築される緑化植物の生存率を8割の確率で保証するには、12日間の連続干天に耐えられる保水力を植生基盤に求めるか、或いは緑化植物が枯死することがないように人為的な灌水の実施が求められるのである。

(2) 梅雨明け後の連続干天日数

気象庁が梅雨入り日と梅雨明け日を公表するようになったのは、1951年以降のことである。このため、梅雨明け十日と言われる晴天期間における連続干天の検証もまた、1951年以降の雨量データに限られる。そこで、図-6に示すのは、1951年から2006年までの56年間にあって、梅雨明け直後から継続する連続干天日数の年変動である。但し、1993年は梅雨明け日が特定されず、1997年と1998年は、梅雨明けの翌日に各々、16.5mm、0.5mmの日雨量を記録しているので、両年における梅雨明け後の連続干天日数は0である。また、梅雨明け後の連続干天日数は、前節で示した月別の連続干天日数とは異なり、月を越えた無降雨日も加算しているので、月別の連続干天日数よりも大きくなっている。

梅雨明け直後から継続する連続干天日数は、図-6のとおり、多年平均値で8日強である。夏期シーズン（4月～10月）における連続干天日数の多年平均値が13日（図-1参照）であるから、梅雨明け後の値は意外に小さい。他方、最大値は1951年7月18日から8月9日に至る23日と大きいけれども、20%確率で発生する連続干天日数は計算上、13日強でしかない。これに対し、夏期シーズン（4月～10

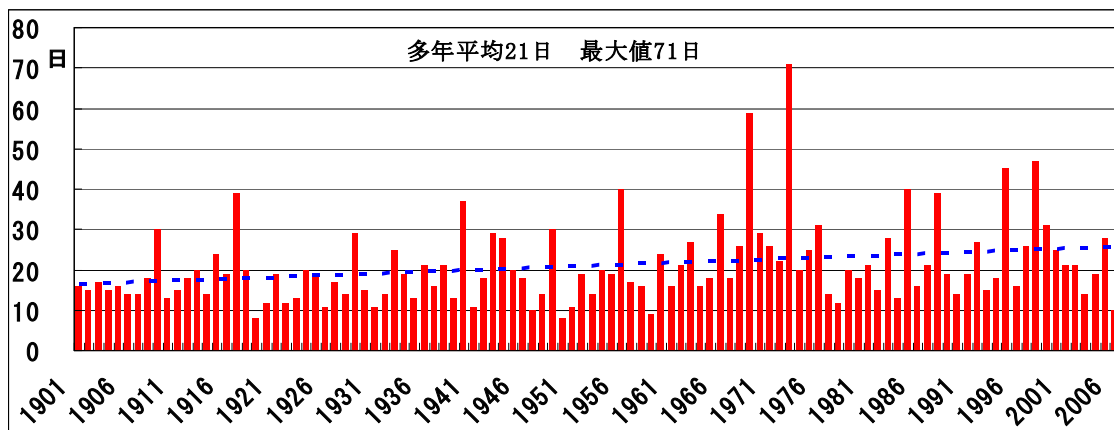


図-7 冬期（11～3月）における連続干天（無降雨）日数の変動

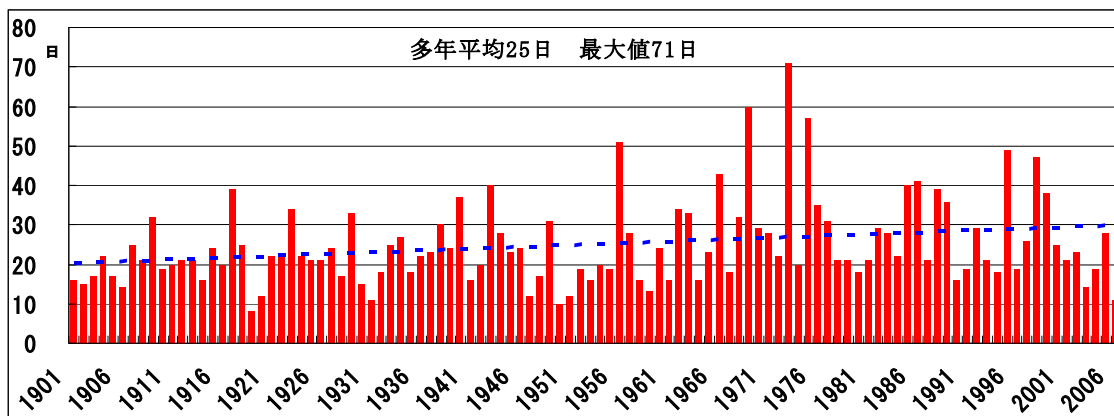


図-8 冬期（11～3月）における連続干天（日雨量1mmを除外）日数の変動

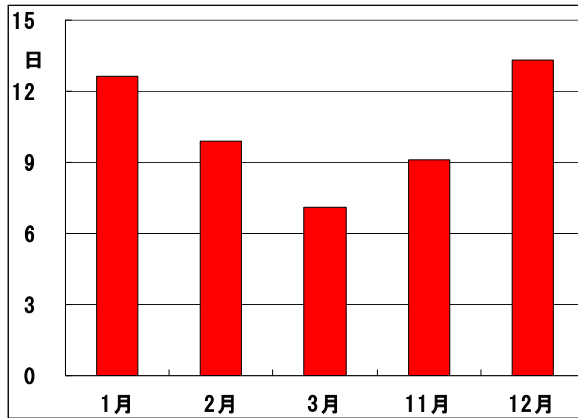


図-9 連続干天（無降雨）の月別、多年平均日数

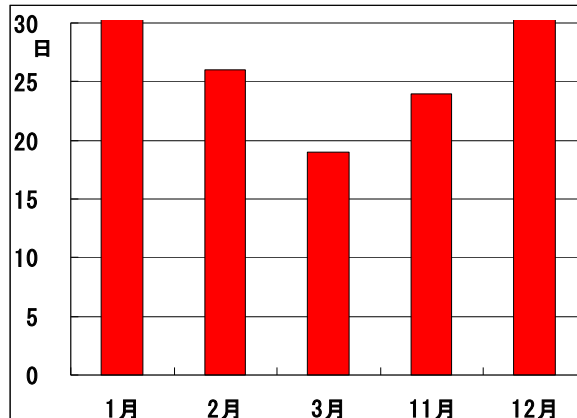


図-10 連続干天（無降雨）の月別、最大値

月)にあって、20%確率で発生する連続干天日数は、計算上、16日である。

以上のように、連続干天という概念を用いて梅雨明け後の無降雨の継続状態を見ると、梅雨明け後の無降雨は、夏期シーズン（4月～10月）を通して見られる一般的な傾向から外れる。梅雨明け後の晴天無降雨の継続は、特異なケースで無く、夏期シーズンには、梅雨明け直後よりも長い無降雨の継続期間が存在するのである。言い換えれば、無灌水仕様の

植生基盤を検討する際、無降雨期間の対象として、梅雨明け直後の期間を指定するのは好ましくないとと言えるのである。

4. 冬期における連続干天日数

植物の活動期を成長期と休眠期に区分すると、休眠期に相当するのが11月から翌年の3月、つまり、ここで言う冬期である。従って、無灌水仕様の緑化の課題を考える場合、冬期における連続干天日数の

考察は、余り意味の無いことかも知れない。しかしながら、寒地系芝など、冬期にあっても成長が継続する草本類が緑化植物として採用されるケースがあることも事実である。しかも、河川の流況の変動のなかで、冬期渇水期に相当するのがこの時期であるから、冬期の連続干天の検証は、冬期仕様の緑化や都市河川における冬期の流況を考える際の重要なテーマの一つなのである。

図-7は、1901年から2006年までの106年間における、冬期の無降雨の連続干天日数の年変動で、図-8は、1mmの日雨量が記録された日を無降雨とした場合の連続干天日数の年変動である。連続干天日数は、共に線形の変動近似曲線($y=0.0888x+16.209$ 、 $y=0.0916x+19.977$)が微増の傾向を示し、年を経る毎に、連続干天日数が増えていることが判る。多年平均値は前者が21日、後者がさらに大きく25日、最大値はともに71日である。

他方、図-9と図-10は、冬期における、連続干天日数の月別の多年平均値と最大値である。多年平均値は1月と12月に高く12~13日あり、最大値は1月、12月の全日、すなわち31日を数える。

このように、11月から3月までの冬期における連続干天日数は、4月から10月までの夏期シーズンの数値と比べて、非常に大きい。20%の確率で発生する無降雨の連続干天日数は、計算上、27日と、途方もない値になってしまう。つまり、冬期にあっても成長が継続する草本類の生存率を80%の確率で保証するには、27日間という極めて長い期間の連続干天に耐え得る保水力を植生基盤に求めるか、或いは緑化植物が枯死することがないような人為的な灌水の実施が求められるのである。河川流況の変動というテーマに立ち返れば、冬期渇水という平水位の極端な低下が冬期に発生する所以は、この冬期の連続干天日数の大きさに有るのである。

5. まとめ

本論では、以上のように、東京大手町における気象庁の日雨量データを整理することによって、東京都心における無降雨の実態とその特性を明示し、その結果を通して、人工地盤における緑化の課題、すなわち無灌水仕様の植生基盤について検証し、併せて河川の冬期渇水と密接に冬期の連続干天の実態特を明らかにした。以下、3点を挙げ、本論のまとめとする。

- ①夏期(4月~10月)における連続干天は、年毎に増加傾向にあり、連続無降雨の多年平均は13日、1mm雨量を無降雨と判断した場合の連続干天は多年平均が16日となる。無灌水仕様、つまり降雨に依存した植生基盤を用いて、8割の確率で緑化植物の生存を保証するには、0mmの無降雨の干天のケースで15日、1mm雨量を無降雨と判断したケースで21日間の保水力が植生基盤に求められる。
- ②連続干天は必ずしも夏期暑熱期の7、8月に出現するとは限らない。仮に、夏期暑熱期の7、8月に限定して、無灌水仕様の植生基盤を用いた場合、当該基盤には12日間の保水力が求められる。また、梅雨明け十日と言われる晴天は、特異な連続干天をもたらさない。
- ③冬期(11月~3月)における連続干天は、これも年々、増加傾向にあり、連続無降雨の多年平均は21日、1mm雨量を無降雨と判断した場合の連続干天は多年平均27日と長い。そういう意味で、冬期に成長が継続する草本類を緑化植物として採用するのは難度が高く、また冬期渇水という平水位の極端な低下が冬期に発生する所以は、この冬期の連続干天日数の大きさに有る。

参 考 文 献

- 1) 屋上緑化の流出抑制の特徴(2005): 岩屋隆夫、2005年研究発表要旨集、水文・水資源学会、88-89.
- 2) 屋上緑化の熱環境と流出抑制の特徴(2005): 岩屋隆夫、竹垣敏郎、平成17年度東京都土木技術研究所年報、143-154.