

自然は土地の力 2

軽石と石灰で断熱緑化コンクリートを作りヒートアイランドにオアシスを！



MISAWA Ltd

VLCCタンカーにオアシスⅡを載せて水を蒸発させる計算をしてみました。VLCCタンカーの長さは300m, 巾60mです。タンカーの甲板は長方形ではないので、オアシスⅡが載る甲板面積を長方形の80%の14,400㎡に設定しました。オアシスⅡからの水分蒸発量を新宿事務所で測定した3.6ℓ/㎡・日で計算すると、タンカーからの1日当たりの水分蒸発量は51トン、1年あた18,615トンです。ちなみにVLCCとはVery Large Crude Carrierの略語だそうです。

新宿事務所のそばに新宿御苑があります。御苑の面積は583,000㎡です。これはVLCCタンカー40.5隻の面積に相当します。つまり新宿御苑でオアシスⅡで芝生を育てると1日当たりの水分蒸発量は2065.5トン、1年あたり753,907.5トンの水が蒸発することになります。また東京の降雨量は4.3ℓ/㎡・日なので新宿御苑に降る雨は2506.9トン/日、1年あたり915,018.5トンになります。そして0.7ℓ/㎡・日(4.3ℓ/㎡・日 - 3.6ℓ/㎡・日)の水が土に保水されます。つまり441トン/日、16096.5トン/年の水が御苑の土に保水される計算ですね。上の写真は新宿御苑の芝生の広場です。5月22日撮影



先のblogで土地の降雨量から水分蒸発量を引いたものが土地の保水量であるお話をしました。「[タンカーにオアシスⅡをのせて水を蒸発させると？](#)」土地の降雨量をinput、水分蒸発量をoutputとするとinputがoutputを上回る土地は保水力があり、inputがoutputを下回ると、土地は乾燥するということです。そして降雨量inputを地中に保水keepするのが植物です。

土地に植物が生えていない場合は、降った雨は土の表面から蒸発します。植物が生えている場合は、植物の根が降った雨を地中に引きこみ保水します。そして保水された水は、根から葉を通して蒸発することで、雨水の循環が続くのです。私はコンクリートジャングルとアスファルト砂漠抜覆われたヒートアイランド東京で、保水性のある緑化コンクリート「[ガーデンクリート](#)」で植物を育て、土地の保水力を回復する緑化システムを開発しています。写真はヒートアイランド東京のオアシス新宿御苑です。5月25日撮影



先のblogで「植物が生えている場合は、植物の根が降った雨を地中に引きこみ保水します。」とお話ししました。「[土地の保水力](#)」今回は土地の保水力を詳しくお話ししたいと思います。新宿事務所のベランダに設置したオアシスⅡからの最近の水分蒸発量は2.6リットル/m²・日、そして芝生からの水分蒸発量は1.0リットル/m²・日です。つまり芝生の葉に無数に張り巡らされている葉脈から1平方メートル当たり、1リットルの水が蒸発するということですね。そして水が蒸発した後の葉脈の空隙に根から水が上がってきます。

芝生の水が蒸発することで吸引力が働き根から水が吸い上げられます。このほかに根には周囲の土や水から根圧がかかり、水が入ってきます。植物が生えている土地の周囲には葉からの蒸発による吸引力と根圧が常に働いています。この力が植物の生えた土地に保水力を生む仕組みですね。写真は自然の力である引力をうまく使いながら水を吸収し蒸発させているオアシスⅡの芝生です。

5月27日撮影

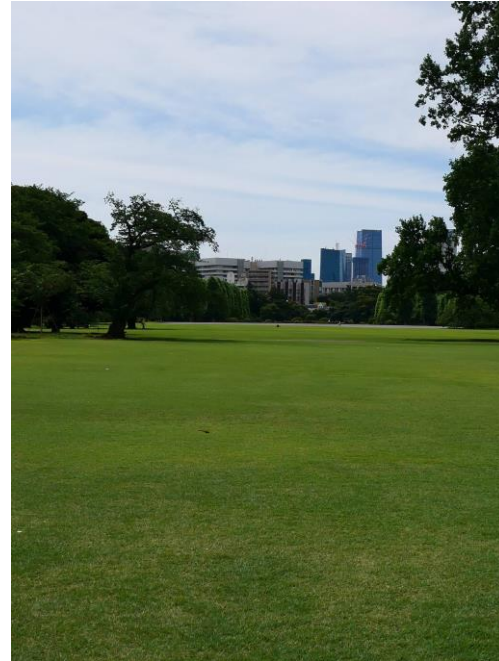


オアシスⅡからは最近、約 $1\text{kg}/\text{m}^2 \cdot \text{日}$ の水が蒸発しています。「[オアシスⅡからの水分蒸発量2](#)」 1g の水を水蒸気にするのに 2300 ジュール（ 9614 カロリー）のエネルギーが必要です。つまりオアシスⅡから芝生を通して水が蒸発するのに 2300k ジュール（ 9614k カロリー）/ $\text{m}^2 \cdot \text{日}$ のエネルギーが使用されています。白米の茶碗一杯のエネルギーが約 234 キロカロリーですからオアシスⅡから水分が 1g 蒸発するのに、茶碗 41 杯（ $9614 \div 234$ ）/ $\text{m}^2 \cdot \text{日}$ のエネルギーが消費されている計算です。

蒸気機関は水が気体に膨張するエネルギーを利用しますが、芝生は水が蒸発するときの吸引力を利用して葉脈から水を蒸発します。そして芝生から水を蒸発させるエネルギーは太陽からいただきます。芝生は太陽からのエネルギーと、地球からの引力を利用して命を繋ぐplantです。関連ブ5月29日ログ：[芝生の吸引力](#) 写真は土中から水分を吸引して蒸発させる芝生の広場です。5月29日撮影

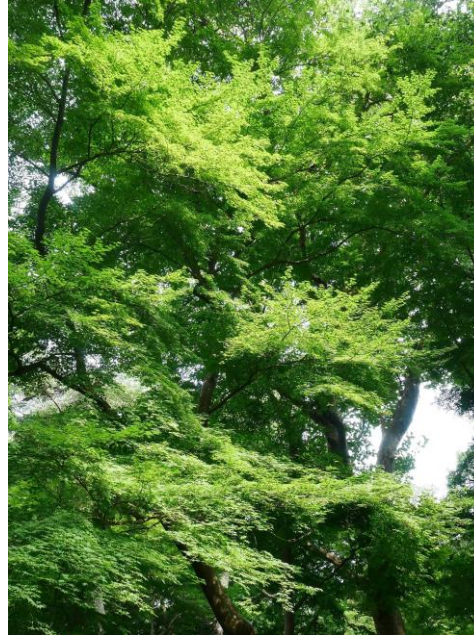


オアシスⅡを使用したビオトープはコンクリートやアスファルトの上に設置することを目的とした薄層緑化システムなので、自然の雨水の循環に加えて給水で水を補う方法をとっています。東京の年間降水量は1598.2mm（4.4mm/日）です。雨の当たらない新宿事務所のベランダに設置されたオアシスⅡからは、およそ3.5～3.8mm/日の水が蒸発しています。そして7日分の水を容器に給水する方法で芝生を育てています。



上の写真は新宿御苑の芝生の広場です。オアシスⅡでの芝生と土からの水分蒸発量から推察すると御苑の芝生の広場からもおよそ3.5～3.8mm/日以上の水が蒸発（output）していると考えられます。東京の年間降雨量（input）が4.4mm/日です。新宿御苑の芝生の広場はinputの降水量がoutputの蒸発量を上回り、残りの水が土中に保水されるようなので、1年を通してスプリンクラーなどによる散水をあまり見かけたことはありません。テイワナクの盛り土による農業は、気候変動によりinputの降雨量がoutputの蒸発量より下回ったことが原因で衰退したのでしょうか。ヒートアイランドのビオトープオアシスⅡでは、給水することで水の循環であるinputとoutputのバランスを保ちます。6月22日撮影

先のblog「[オアシスⅡからの水分蒸発量8](#)」でお話ししたように、地表からの水の循環は、太陽光を浴びた水面や土の表面から水が気化して大気中を上昇して液化して雨となり地表に降る方法と、植物の葉を通して気化した水が水蒸気となり大気中を上昇して雨として地表に降る方法があります。



地表や水面で太陽光を浴びた水は気化し大気中に放出されますが、地中に根が生えた植物は、地中の水を根から吸収して葉の表面で気化して大気中に放出します。根から葉に向けて水が上昇してゆくのは、葉の表面から気化した水の影響で吸引力が働くことは先のblogでもお話ししました。「[芝生の吸引力](#)」そして水を気化して吸引力を生み出すのは太陽光エネルギーであることもお話ししました。「[芝生から水を蒸発させるエネルギー](#)」オアシスⅡからの芝生の水分蒸発量を観察していると、土や水からの水分蒸発量と、芝生からの水分蒸発量の動きに違いが見られますが、これらのことが影響しているみたいですね。



新宿御苑を歩いていると、木々が根から水を吸い上げて、大気中に水蒸気として放出している様子を実感することができます。7月6日撮影

朝の御苑の木立の中を歩いていると涼しさを感じます。頭上を覆うモミジの葉が太陽光を遮り、日陰を作ります。プラタナスの並木は、根を通して地中から水を吸い上げて幹や葉に送ります。プラタナスは葉にあたった太陽光のエネルギーを利用して、吸い上げられた水を気化させて葉の表面温度を低く保ちながら周囲の温度も少し低くなります。

植物たちは周囲の気温が高くなっても、太陽光と地中の水を利用して自らの力で周囲の温度を調節しながら生命活動を続けます。



東京は連日**30℃**を超える猛暑日が続いています。人々は水分の補給に気を付けたり、クーラーで室温を調節しながらなるべく屋外に出ることを避けて生活していますが、植物たちは自らの力で猛暑に立ち向かいます。人間は御苑の植物たちの生命力にはかないませんね。7月31日撮影

2023年7月20日から2024年7月20日までの新宿事務所の室温と湿度の推移がグラフになりました。このグラフをザックリ見ると、昨年の7月20日と今年の7月20日の室温はほぼ同じです。昨年は7月20日から8月20日にかけて室温は横ばいに推移しました。そして8月20日を過ぎたころから室温は若干下がりました。



「暑さ寒さも彼岸まで」という諺がありますが、グラフをよく見ると9月20日前後から気温が下がり始め3月20日前後から気温が上昇しているのがわかります。グラフで3月20日から数日間、室温と湿度が横ばいなのは、この時期に1週間ほど室温と湿度の測定が出来ず、その結果がグラフに現れたようです。

今年の東京は猛暑が続いているので、これから先の室温と湿度の変化を注意深く見てゆこうと思います。

露天の大田区産業プラザPIOのテラスや雨の当たらない新宿事務所のベランダで緑化ブロックを使用したオアシスやオアシスIIで芝生を育てていますが、オアシスやオアシスIIからの年平均水分蒸発量はおよそ3.6から3.8 $\text{mm}/\text{m}^2 \cdot \text{日}$ 前後です。そして東京の降水量はおよそ4.4 $\text{mm}/\text{m}^2 \cdot \text{日}$ です。

この数値をもとにして、世界各地でオアシスやオアシスIIを使用して芝生を育てる場合の、水分蒸発量や給水補正量を計算してみました。下の表をご覧ください。熱帯のクアラルンプールは東京よりも降雨量が多いので、給水量を補正する必要はありません。乾燥地帯のニューデリーや砂漠のリヤドは東京よりも降雨量が少ないので、給水量を補正する必要がありますね。

東京におけるオアシスIIからの水分蒸発量を基準として世界各地の給水量を想定すると					
	気温 $^{\circ}\text{C}$	相対湿度%	降雨量 $\text{mm}/\text{日}$	オアシスIIからの水分蒸発量 $\text{mm}/\text{日}$	給水補正量 $\text{mm}/\text{日}$
東京	15.8	65.0	4.4	3.8	
クアラルンプール	27.8	81.0	7.8	4.7	
ニューデリー	25.3	54.0	2.1	3.1	0.7
リヤド	27	29.0	0.35	1.7	2.1
				東京のオアシスIIからの蒸発量を基準として各地の蒸発量を想定	東京のオアシスIIへの給水量を基準として各地の給水補正量を想定

今回基準にした数値は東京でオアシスやオアシスIIで西洋芝を育てる場合の、水分蒸発量と給水量です。そして比較する世界各地の指標は降雨量です。気温や相対湿度は比較対象には入れていませんが、降雨量は気温や相対湿度と連動しているので、関連した指標にはなるとおもいます。

芝生を育てる緑化基盤であるオアシスやオアシスIIが同じでも、場所が変わるとその土地の自然の力である、気温、湿度、降雨量が芝生の生育に影響を及ぼします。東京の土地の力を基準にして、世界各地の土地の力に対応した芝生の生育を想定するのは面白いですね。

東京では高層ビルの建築に使用する人工軽量骨材が不足しているようです。[日経ニュース](#) 人工軽量骨材は膨張性頁岩を粉砕・造粒・焼成して作ります。一方で日本は火山国で火山の周辺には大量の軽石・スコリアが埋蔵されています。軽石・スコリアの物性は人工軽量骨材に似ています。例えば代表的な人工軽量骨材であるメサライトの絶乾密度は 1300kg/m^3 そして富士山のスコリアの乾燥密度はおよそ 800kg/m^3 です。軽量骨材が不足しているのなら富士山のスコリアを使用すればいいのではないかと思います。そうはいきません。今不足している軽量骨材は建物の構造物用のコンクリートとして使用するために、様々な試験をクリアしなければなりません。古くはJIS規格に適合した軽量骨材でしか使用できません。それと日本の軽石・スコリアが構造物用のコンクリートとして大量に利用できないもう一つの理由は、日本の火山が[国立公園法](#)で守られているからです。

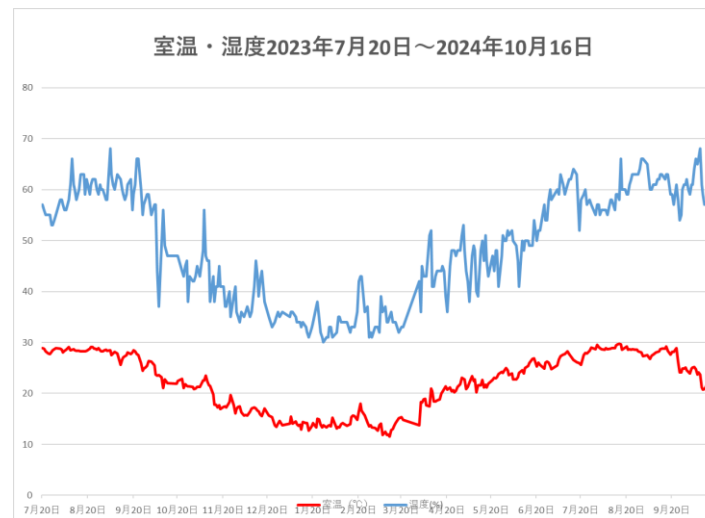


話は変わりますが、アメリカ合衆国では天然の軽石を構造物用のコンクリートとして使用しているようです。その理由はおそらく軽石の埋蔵量がとても多いことと、軽石を使用したコンクリートの経験と実績があるからでしょうね。過去のイエローストーンの大爆発以来、火山の噴火で生成された軽石がイエローストーンの周辺の地下に大量に埋蔵されていて、それを採掘から製造までを行う企業があるようです。 [HESS PUMICE](#)



当社で開発したガーデンクリートの乾燥比重は**900kg/m³**、保水時の比重は**1200kg/m³**で人工軽量骨材や富士山のスコリアに似ていますが、ガーデンクリートは構造物を被覆する断熱緑化コンクリートです。コンクリートジャングルやアスファルト砂漠に覆われたヒートアイランドをガーデンクリートで被覆することで、植物が育つオアシスを作ります。

朝、事務所に入ったら机の上のデジタル温湿度計の室温と湿度を記録しています。昨年の7月からの記録をグラフにするといろいろなことがわかりますね。赤い線が室温のグラフです。



昨年も今年も8月のお盆を過ぎたころから少しずつ気温が下がり始め、9月のお彼岸を過ぎるとその傾向がはっきりします。今年の東京の夏は暑かったですが、昨年も同じような気温だったことがグラフからわかります。これから来年の春のお彼岸に向けて気温は下がり続け、お彼岸を過ぎると6月の夏至に向けて気温は上昇します。そして夏至から2か月ほど暑い日が続き、徐々に気温が下がるのが新宿事務所の室温の周期です。

新宿御苑では秋の桜ジュウガツザクラが咲き始めました。今年の東京はお彼岸を過ぎて涼しくなりましたが、まだ日中は暑い日がぶり返しているのがグラフからもわかります。それでも植物たちは周囲の自然の変化を敏感に察知して反応しているようです。 10月16日撮影



古代都市は水の枯渇で滅びました。それは地中に保水された水を吸い上げて循環させる、植物の消失が大きな原因です。私は東京都内でガーデンクリートの上に芝生を載せて水分の蒸発量を測定しています。この水分の蒸発に伴う水の循環をザックリ述べると下記のとおりです。

東京の降水量の年間平均値が $4.4\text{mm}/\text{m}^2 \cdot \text{日}$ 、芝生からの水分蒸発量の年間平均値が約 $2\text{mm}/\text{m}^2 \cdot \text{日}$ 、土や水からの水分蒸発量の年間平均値が約 $2\text{mm}/\text{m}^2 \cdot \text{日}$ です。つまり $4.4\text{mm}/\text{m}^2 \cdot \text{日}$ の降雨量に対して芝生と土、水からの水分蒸発量の合計 $4\text{mm}/\text{m}^2 \cdot \text{日}$ 、その差の $0.4\text{mm}/\text{m}^2 \cdot \text{日}$ の水がガーデンクリートや土に保水される計算です。東京では降水量よりも植物を含めた地表からの水分蒸発量が少ないことで、都市の枯渇をま逃れているようですね。



他にも東京が都市の枯渇化からま逃れているのは、東京周辺の土地や、山々に豊富な緑が残されていて雨水の循環が保たれているからです。地中に伸びた植物の根が保水された水を吸い上げて葉から蒸発させることで雨水の循環が保たれます。ヒトは生活空間を豊かにするために植物を利用していますが、植物を利用しすぎて地中の保水力が衰えることに気が付いてもらいたいものです。植物は地中の水を蒸発させて、循環する力を持つ土地の力です。

東京都にはみどり率という調査データがあります。[みどり率](#)とは「緑が地表を覆う部分に公園区域・水面を加えた面積が地域全体に占める割合」を表したもので令和5年の調査データを見ると、都全域で**52.1%**、区部で**24%**、多摩部で**67.4%**だそうです。また理科年表によると降水量は全国各地の気象台や観測所による測定値に基づいているようです。東京の観測点（露場）は千代田区大手町の気象庁から（[平成20年以降は付近の北の丸公園](#)）に移って測定されているようです。



東京の降水量は年間**1598.2mm**、**4.4mm/日**です。（理科年表**2024**年版）つまり東京の降水量はみどり率が**24%**の場所で測定されているということです。それではみどり率が**67.4%**の多摩部での降水量はどのようなのでしょうか？緑が多いということは植物からの水分蒸発量も多くなるので、降水量も多い水の循環が見られると思います。

私がガーデニングクリートに芝生を載せて芝生の水分蒸発量を測定しているのは新宿区や大田区など区部なので、千代田区で測定されている降水量とは関連性がありそうですね。降水量は大気中の湿度の数値にも影響を及ぼすと思いますが、多摩部を始めとして東京**23**区よりもみどり率が多い場所で芝生からの水分蒸発量を測定するとどのようになるか楽しみです。関連ブログ：[植物は土地の力](#)



私が住んでいる日本は周囲を海に囲まれています。このような仕組みで、雲が減り→アルベド（反射率）が減り→太陽光エネルギーの入射率が増えると、海水温が上昇して、日本を取り巻く自然（土地の力）も大きく変わってゆくと思います。写真は伊勢湾 二見浦の海です。7月1日撮影 関連ブログ：[アルベド](#)



新宿事務所のベランダで芝生からの水分蒸発量を調べていますが、芝生からの水分蒸発量は周囲の湿度、温度の変化、光や風の当たり具合などの影響を受けています。芝生が根から水を吸って葉から蒸発させてゆくシステムにも、微妙な変化があるようですね。例えば葉が成長して水分を蒸発させる面積が増える事などです。



芝生からの水分蒸発量の変化という一つの現象を追いかけてみても、その変化には先に述べたような様々な要因が絡み合っています。我々は周囲を取り巻く自然現象の変化の要因を簡単に決めつけてはいけないと思います。最近では地球の気候変動要因を、人間が大気中に排出する温室効果ガスにあるという考え方がありますが、地球を取り巻くスケールの大きな自然現象の変化をわずかな要因だけに決めつけることはできません。我々日本人は縄文時代から、自然に宿る八百万の神々を感じながら生命をつないできました。これからも我々は自然に対して対立するのではなく、畏敬の念を持った姿勢で向き合いたいものです。写真は箱根大涌谷の水蒸気です。12月24日撮影 関連ブログ：[都市の温暖化と地球の温暖化](#)

去年は日本周辺の海水温が高くなり、それに伴い東京の気温も高く推移しました。コンクリートやアスファルトに覆われたヒートアイランド東京に海水温の上昇という新たな気候変動要因が加わる中で、「ヒートアイランドにオアシスを！」をテーマに掲げる、断熱・緑化コンクリート ガーデンクリートの機能を改めて確認しようと思います。



まず芝生とコンクリートの表面温度の比較ですが、真夏の直射日光を浴びた状態で、ガーデンクリートの上の芝生の表面温度は32°C、コンクリートの表面温度は58°Cでした。その違いは水分を含んだ芝生は、太陽光の熱エネルギーを利用して気化熱の働きで水分を蒸発させて表面温度を下げます。一方コンクリートは水分を含でおらず、気化熱が生まれないので表面温度を下げる事が出来ず、太陽光の熱エネルギーをコンクリート内部に蓄熱させます。このように太陽光エネルギーを気化熱に利用できるか、出来ないかで芝生とコンクリートの表面温度に大きな差が生まれます。

次に芝生とガーデングリーンを載せた建物の下の階の天井温度と、コンクリートむき出しの下の階の天井温度の違いですが、下のグラフをご覧ください。**キーワードは夏は断熱効果、冬は保温効果です。**



芝生下とコンクリートと下の温度の推移をみると、夏の間は芝生下の温度がコンクリート下よりも低く、冬になると芝生下の温度がコンクリート下の温度よりも高く推移していることがわかります。その理由は夏の間は芝生とガーデンクリートを通して建物に伝わる太陽光エネルギーが気化熱の働きで少なくなったり、ガーデンクリートの熱伝導率が、コンクリートの熱伝導率よりも低いので、建物の天井下の表面温度を低く保ちます。（**断熱効果**）冬になるとコンクリートよりも熱伝導率の低い芝生やガーデンクリートが室内の暖気が外に逃げるのを抑えるので、芝生下の室内の温度が高く推移します。（**保温効果**）



ガーデンクリートが普通の断熱材と違うのは、材料を保水できることです。断熱材は材料を通して熱が伝わる時間を遅くすることはできますが、熱を減らすことはできません。材料に保水できるガーデンクリートは、保水された水が気化することで熱を減らすことができます。そしてガーデンクリートの熱伝導率はコンクリートの1/10から1/5で、熱が伝わる時間も遅らせることができます。コンクリートやアスファルトの上にガーデンクリートを載せることで、植物を育てて表面温度を低く保ち、建物を断熱することができます。

先のblogでオアシスⅡへの給水量がオーバーフローしてしまい、オアシスⅡの横でほぼ同じ条件で西洋芝を育てていおるオアシスⅢの給水量を代用したお話をしました。[\(オアシスⅡからの水分蒸発量34\)](#)芝生からの水分蒸発量の変化を記録するには観測記録の継続性が必要です。オアシスⅢへの給水量はオアシスⅡへの給水量と似た傾向を記録していました。



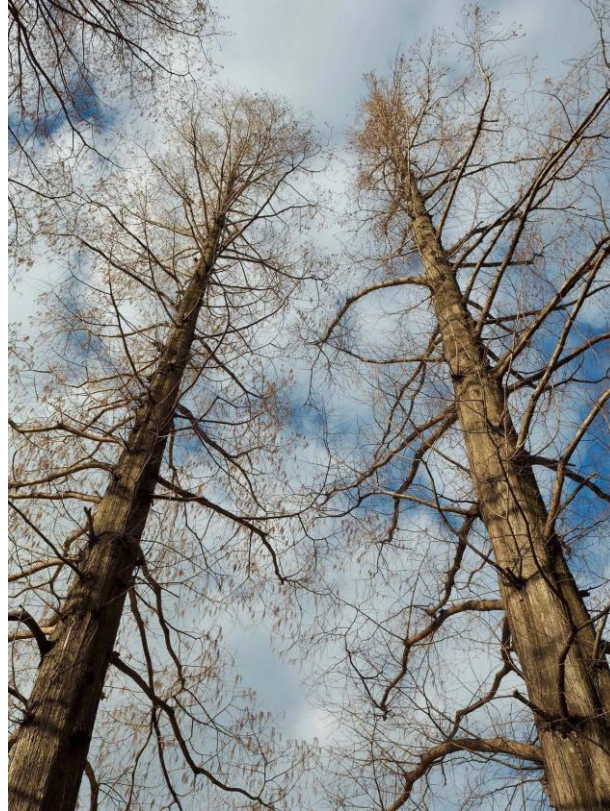
私は1年を通してオアシスⅡからの芝生から蒸発してゆく水分量の変化の傾向を見ていますが、厳密な数値にはこだわりません。たまたま別の目的で水分蒸発量の変化を観測していたオアシスⅢがオアシスⅡの横にあったので助かりました。今回の測定の実績を通して芝生は周囲の温度、湿度、光や風の当たり具合という自然の力に包まれていることを改めて感じました。写真の手前がオアシスⅡ、奥がオアシスⅢです。1月14日撮影

ネットニュースを見ていたら地下水をくみ上げることで水の移動が起こり、それが地球の自転軸の傾きに影響を与えているというニュースを見かけました。「[地球が20年で約80cm傾いた](#)」地球上では1993年から2010年にかけて約2150ギガトンの地下水がくみ上げられて、それが最終的には海水に流れ込んだとのこと。くみ上げられた地下水の多くは農地で作物を育てたり生活用水として使用されたりしました。



大陸の地下に貯留されていた水が吸い上げられて、地表の植物を通して大気中に蒸発して最終的に海に流れて、陸と海の重さのバランスが変わり地軸の傾きに影響を及ぼすというスケールの大きな話ですね。地軸がわずか20年の間に80cmも傾いたようです。地軸が傾くことで地球上の一部では海面の上昇が見られるようです。海面の上昇は温室効果ガスの影響だと単純には決めつけられないようですね。

海に囲まれて雨の恩恵を受ける日本の自然の中で暮らしている私には、雨水の循環が地下水と海水に重さのバランスを崩しているということは気が付きませんでした。地下水も石油と同じように無限の資源ではありません。地球上の人口が増大する中で私たちを支える農作物の生産も、有限な水資源を有効に使用するシステムを作らなければいけませんね。写真は新宿御苑の温室のバナナとメタセコイアです。



芝生からの水分蒸発量は気温だけでは決まりません。気温のほかにも湿度や風や光の当たり具合、降雨量などその土地の様々な自然の力が絡み合いながら水分の蒸発量に影響を与えています。しかし気温はその土地の自然の力の中でも大きな影響を与えている要因だと思います。そこで東京で測定をしているオアシスⅠ、オアシスⅡの芝生からの水分蒸発量と東京の平均気温を基準として、世界各地でオアシスⅠ、オアシスⅡを使用する場合の水分蒸発量を予測しました。下記の表をご覧ください。各国の数値は理科年表2024を参照しました。

東京の気温と水分蒸発量を基準とした各国の芝生からの水分蒸発量予測

	平均気温°C	芝生からの水分蒸発量予測 mm/日	降水量 mm/日 参考
東京	15.8	3.8	4.4
福州	20.5	4.9	3.9
香港	23.2	5.6	6.5
シンガポール	27.8	6.7	5.8
クアラルンプール	27.8	6.7	7.8
バンコック	29.1	7.0	4.7
ニューデリー	25.3	6.1	2.1
リヤド	27	6.5	0.4

東京では、あえて寒冷地型の西洋芝を使用して芝生からの水分蒸発量を測定しています。西洋芝は夏になると生育ポテンシャル**Growth Potential**が落ちますが一年を通して芝生からの水分を蒸発する活動を続けています。しかし今回予測した亜熱帯、熱帯、乾燥帯、砂漠では他の芝生を探さなければいけませんね。



世界各地で芝生を探すには、その土地の自然の力に合った芝生、例えばゴルフ場やスポーツ施設で生育されている芝生が参考になりそうです。