

7. 海水を使った発電はできるのか ～未来の浸透圧発電～

沼津市立大岡中学校

1年 眞辺千尋

1 動機

僕はよく釣りに行くので、自分にとって身近な海を研究しようと思った。海について普段から感じていた疑問について調べていたら、海水を使った浸透圧発電というものを知った。

浸透圧の図を初めて見た時、「なぜ浸透圧が起こるのだろう」と、疑問をもった。しかも、浸透圧発電は実用化されていないということから、さらに研究したいという思いが強くなった。

昨年から引き続き浸透圧の研究をしようと思う。昨年は海水のしょっぱい理由について調べ、全国各地の海水の濃度を測った。そして、大きな浸透圧を発生させるには海水の濃度を濃くして、半透膜の面積を大きくすればいいことが分かった。実際に浸透圧発電を行っている東京工業大学特任教授の谷岡先生にお話を伺い、とてもいいお話をお聞かせいただいた。今年は海水の濃度と半透膜の面積を変化させたら浸透圧はどのように変化するかを研究しようと思う。そして、実際の浸透圧発電所の実験施設を見学したいと思う。

2 浸透圧について

(1) 浸透圧発電とは

浸透圧発電とは、塩水と淡水を半透膜で仕切って、淡水から塩水にかかる圧力を利用して発電するものである。

浸透圧の圧力で、タービンを回して発電をする。

落差 600m の水力発電システムと同じ発電能力を、浸透圧を利用して直径 20cm、長さ 1m の膜モジュール内で実現しようとするものである。

浸透圧発電は半透膜があることで成り立っているので、半透膜についても調べてみることにした。

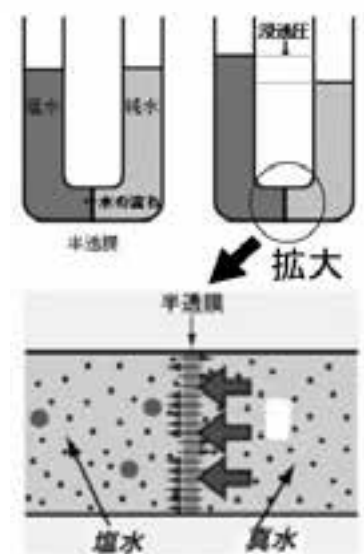
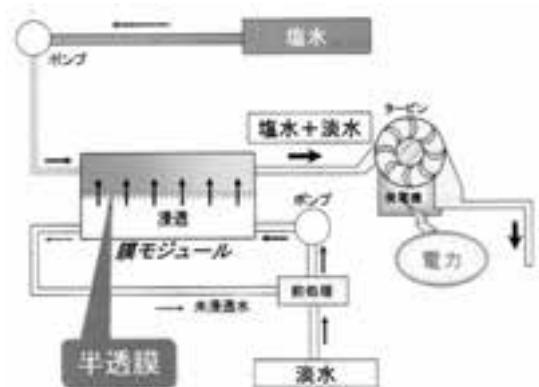
(2) 半透膜とは

塩水と真水を半透膜で仕切る。すると、半透膜には 1 nm (0.000001mm) の小さな穴が開いているので、その穴から水だけが通る。右図のように、塩水側に水の分子がどんどん浸透していくために、水位が上昇していく。この塩水から真水の方へかかる圧力を浸透圧という。

(3) まとめ

浸透圧発電は、真水と海水と半透膜で成り立っていることが分かった。そのなかでも、半透膜はとても大事な役割を果たしており、浸透圧発電の心臓部といえることが分かった。

半透膜には「真水は通すが塩は通さない」という性質があった。その性質を利用して、海水から真水を作る施設があることを昨年知った。浸透圧発電と逆の原理を利用していた。真水を作ると倍の濃さになった濃縮海水が一緒に出てくるので、自分で濃縮海水を作ることはできるのではないかと考えた。



3 濃縮海水の作成

(1) 方法

半透膜には真水を通すが塩は通さない性質があることがわかった。その性質を利用して自分で真水と倍の濃さになった濃縮海水をつくってみることにした。その濃縮海水を今後の実験で有効に利用できるのではないかと考えた。右図では、海水と真水を半透膜で仕切っている。そして右図のように、海水に圧力をかけると濃度が濃くなった海水と真水ができる。



(2) 結果

ピストンを押すことはできたが、半透膜が破れてしまった。もう一回やって、ピストンをゆっくり押したが、穴が開いてしまった。

3 回目は、30 分ごとに少しずつ押してみても、半透膜に穴は開かなかった。しかし、中の海水の濃度が 3.5% から 2.4% と薄くなっていた。中の海水の濃度が濃くなるはずなのになぜか薄くなっていた。



これは、水につけて行ったため、浸透圧が起こってしまい、真水が海水側に入ってしまったからではないかと考えた。

浸透圧よりも大きい圧力でピストンを押さなければいけないが、大きな力で押すと破れてしまうことが分かり、これが今回失敗した原因ではないかと考えた。

(3) まとめ

昨年谷岡先生にお話を伺った際、「半透膜にはたくさん種類があって、とても破れやすいが効率がいいものや、かなり丈夫だが効率が悪いものまでたくさんある」と聞いたのを思い出した。自分が使用している半透膜は「透析用セルロースチューブ」で、海水淡水化施設で利用しているのは「高圧 RO 膜（高圧逆浸透膜）」といって、濃縮海水を作るための膜だった。おそらく、自分が使用している透析用セルロースチューブは、圧力をかけるためのものではなかったために、圧力をかけると破れやすく、濃縮海水を作るには不向きなのではないかと思う。濃縮海水を自分の持っている透析用セルロースチューブとピストンを使って作ることは失敗となった。

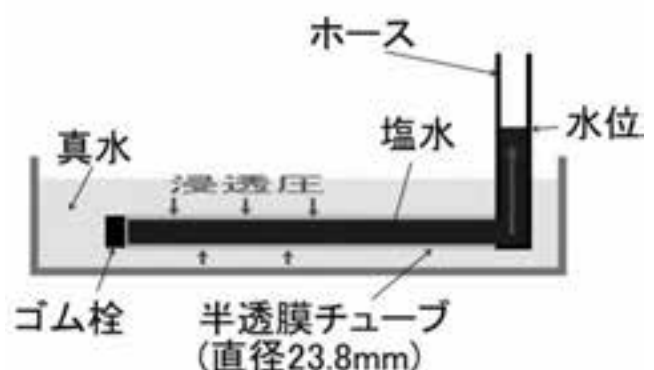
次は海水の濃度を変化させて行う「海水の濃度と圧力の関係」の実験を新たな探究としてやってみる。

4 浸透圧実験

(1) 海水の濃度と浸透圧の関係

ア 内容

昨年の実験で、浸透圧発電に使用する海水の濃度を上げたら浸透圧が大きくなることが分かった。しかし昨年は、5% から一気に 25% に上げてしまった。そのため、海水の濃度を 2 倍、3 倍…というように変化させたら、浸透圧がどうなるのかわからなかった。なので、今年は海水の濃度を 2 倍、3 倍と変化させて、6 倍まで実験することにした。右図のような装置を使って実験する。

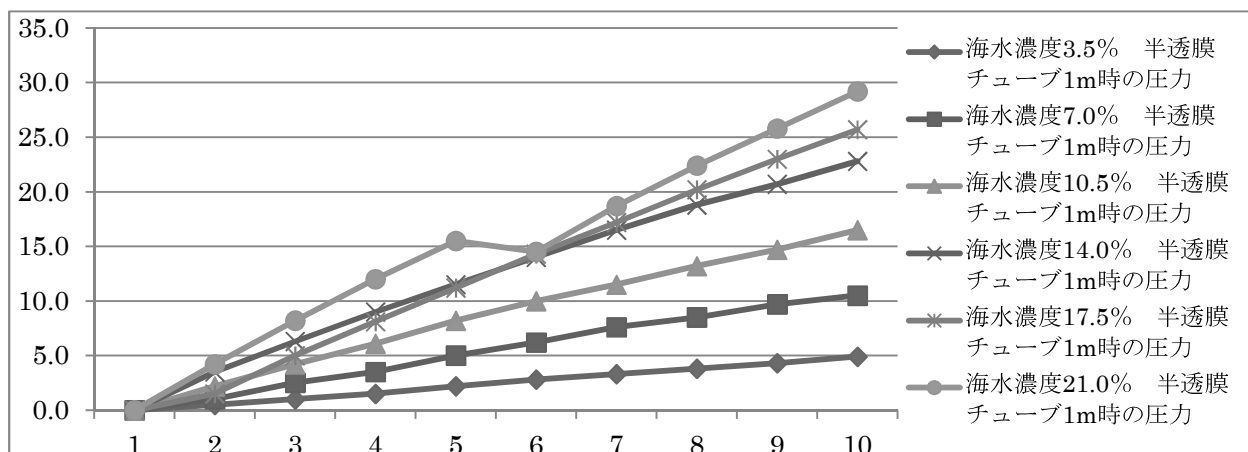


イ 予想

海水の濃度が2倍になっても、その中に含まれている塩だけでなく、水の量も変わってしまうので、圧力も2倍になることはないと思う。塩分濃度は100gの溶液の中にどれだけの塩が含まれているのかを表しているため、100gの水に3.5gの塩を入れても3.5%にはならない。96.5gの水と3.5gの塩で3.5%、93gの水と7gの塩で7%と、塩の量が増えても水の量が減っているなので濃度と圧力は比例しないと思う。

ウ 結果

下のグラフの10分後の各値に注目する。6つの条件すべての間隔が均等に開いていたことから予想とは違って海水の濃度と圧力は比例していたといえる。



次に新たな探究として、圧力を大きくする条件を考えると、半透膜の面積を大きくすれば浸透圧が大きくなることが、昨年の研究で分かっていた。半透膜の面積と圧力が比例するのか、試すことにした。

(2) 半透膜の面積と浸透圧の関係

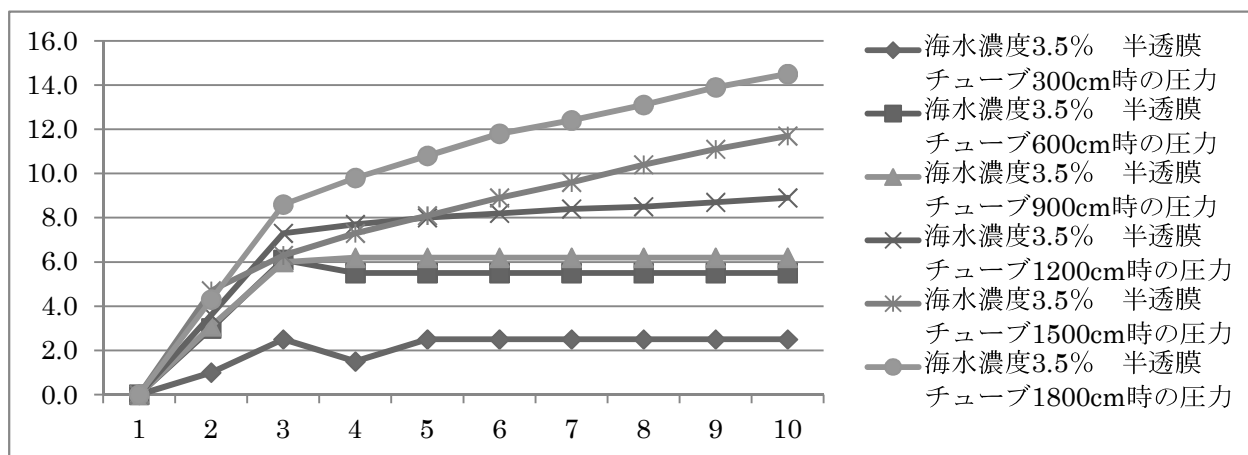
ア 内容

浸透圧を大きくする条件として、「①海水の濃度を濃くすることと、②半透膜の面積を大きくすること」もあったと考えた。昨年の研究で、半透膜を40cmから400cmに一気に上げてしまったので、2倍、3倍…と長さを変えたら圧力はどうなるのかを試すことにした。

イ 予想

半透膜チューブの長さを変えるとその分、半透膜の表面積も変化する。半透膜の表面積が変化するということは浸透圧の発生する面積も変化するから、半透膜の面積と浸透圧は比例すると思う。

ウ 結果



前ページのグラフの10分後の各値に注目する。多少の誤差はあるものの、6つの条件すべての間隔が均等に開いていたことから予想通り半透膜の面積と圧力は比例しているといえる。

(3) まとめ

これまで実験をして、自分の思い通りになる結果が出なかったこともあったが、予想と照らし合わせて分かることもたくさんあった。途中の実験で半透膜に穴が開いてしまったこともあり、修復などをすることもあった。半透膜が破れてしまう原因の一つに海水を何度も入れているうちに半透膜を引っかいたりつなぎ目の水道管に当たったりしたことではないかと思う。濃縮海水の作成の際に採ってきた40Lの海水も無駄にすることなく塩や水をどのくらい混ぜればいいのかを計算するのも大変だった。具体的には、自分が作りたい濃縮海水の量を計算し、それに必要な塩と水の量を計算する。そして、そこに採ってきた海水と、自分で購入した塩を、どれだけ混ぜればいいのか計算し、混ぜ合わせる。ここまでにするたくさんの計算と、たくさんの海水の処理が大変だった。特に21%の海水を作るときは、なかなか塩が溶けなくて大変だった。

海水の濃度と圧力は比例している、半透膜の面積と圧力も比例している、半透膜の面積、海水の濃度と圧力は規則性をもって比例していないが、予想したように圧力の幅が広がっていくことが分かった。

5 浸透圧発電実験プロジェクト

長崎にある協和機電工業と浸透圧発電実験設備に行ってみた。

初めの発表では、浸透圧発電専門の分野の方との発表だったので、いままでにないくらいたくさんの質問をいただけてうれしかった。自分の研究についてのアドバイスもいただくことができた。そのとき、半透膜にもたくさん種類があって、たくさんの種類の半透膜が発電にかかわっていることを知った。来年は半透膜の種類を変えたら圧力はどうなるのかを試したいと思う。その後の松山さんの発表で、想像もつかないほどの半透膜を使っていることが分かった。しかもその半透



膜に3MPaという圧力で海水を送っていることがびっくりした。福岡から長崎に移転して、規模が小さくなってしまったことが少し残念だったが、浸透圧の設備が残っていたことがよかった。日本だけでなく、外国にも目を向けているということから、実用化はすぐそこまで迫ってきているなど感じた。発電に使っている中空糸膜やRO膜、UF膜の性能を自分で試してみたいと思った。

長崎の浸透圧発電実験設備では、自分のやっている実験と比べ物にならないくらい大きな規模の設備だった。その場で濃縮海水を作ってその場で使用していた。発電実験設備には3つの目的があり、「浸透圧発電用の膜の性能向上」「下水処理水の処理方法の開発」「海水と淡水による発電試験」があった。長崎の実験設備を通して、世界で浸透圧発電が実用化される日がすぐそこまで来ているなど感じた。

最後に協和機電工業の皆様、とても貴重な体験をさせていただきありがとうございました。

6 考察

海水の塩分濃度、半透膜の面積、圧力の大きさの関係を調べた。海水の濃度を2倍、3倍…というように変えても浸透圧は比例しないと予想したが、浸透圧と塩分濃度は3ページの上のグラフが直線になっていることから比例したといえる。半透膜と浸透圧は比例すると予想し、浸透圧と半透膜の面積は3ページの下グラフが直線になっていることから比例したといえる。半透膜の面積と浸透圧、海水の濃度と浸透圧はどちらも比例していた。

長崎にある浸透圧発電実験設備に行った。浸透圧発電専門の方との発表で、たくさんの質問とアドバイスをいただけた。そのアドバイスをもとに、来年は半透膜の種類を変えて実験してみようと思う。ほかにも、半透膜を直列に何mも敷き詰めるのではなく、並列につなげてみたりすることも実験しようと思う。実験設備では、大きな膜モジュールとポンプ、海水が入っているタンクなど、たくさんのものがあつた。この実験設備が浸透圧発電実用化に向けての第一歩となるのだろう。